

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV ENERGETIKY

**OPTIMALIZACE OTOPNÉHO SYSTÉMU
RODINNÉHO DOMU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci na téma „Optimalizace otopného systému rodinného domu“ vypracoval samostatně s použitím poznatků ze své bakalářské práce, odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu v příloze této práce.

Místo a datum:

.....

Podpis studenta:

.....

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. **Pavlu Skopcovi** za objasnění tvorby diagramu trvání výkonu, Ing. **Lukáši Petrovi** ze společnosti PZP, který ochotně zodpověděl dotazy ohledně řízení provozu a regulace tepelných čerpadel a hlavně Doc. Ing. **Pavlu Novákovi**, CSc. za cenné rady, věcné připomínky, strávený čas a vstřícnost nejen při konzultacích ohledně vypracování této práce, ale i během studia. Děkuji za osobitý přístup, ochotu a důležitou oporu pro mne i ostatní studenty.

Anotační záznam

Jméno autora:	Bc. Martin Šklár
Název práce:	Optimalizace otopné soustavy rodinného domu Optimisation of a family house heat system
Rozsah práce:	Stran: 134 Tabulek: 29 Obrázků: 59 Příloh: 9
Akademický rok:	2015/2016
Ústav:	12 115 – Ústav energetiky
Obor:	Energetika
Vedoucí diplomové práce:	Doc. Ing, Pavel Novák, CSc.
Konzultant:	Doc. Ing, Pavel Novák, CSc.
Zadavatel:	Fakulta strojní, ČVUT Praha

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá problematikou výběru správného zdroje otopného systému a jeho provozováním ve spolupráci s otopnou soustavou. Klade důraz na rozbor možností otopu a ekonomické hodnocení. Nejprve je popsána potřeba tepla, poté tepelný výkon, zdroje tepla, jejich hlavní části, výhody a nevýhody. Práce volně navazuje výběrem vhodné technologie otopu, jejím ekonomickým zhodnocením a možnostmi financování.

Klíčová slova

otopný systém, tepelná potřeba, otopná sezóna, kotel, tepelné čerpadlo, ekonomika otopu

Annotation

This diploma thesis deals with the correct choice of a source of a heating system and its cooperation with the heating system. The diploma thesis is written with an emphasis on the analysis of the possibilities of heating and economical evaluation. First, the heat demand will be described, then the heating power, the sources of heating, its main parts, lastly the advantages and disadvantages will be described. The thesis continues with choosing a suitable technology and its economical evaluation and financing.

Key words

heating system, heat demand, heating season, boiler, heat pump, economics of heating

Obsah

Seznam použitých značek a veličin	11
Úvod	16
Potřeba tepla	17
Teplota prostředí ve vztahu k rostlinám a živočichům	17
Teplota prostředí a člověk.....	18
Vznik potřeby tepla.....	19
Řešený objekt	20
Tepelný výkon	23
Jmenovitý tepelný výkon.....	24
Nejnižší tepelný výkon	24
Otopné období	24
Vnitřní výpočtová teplota	25
Měrný výkon.....	25
Regulace výkonu tepelného zdroje	26
Četnost výkonu v otopném období	27
Diagram trvání výkonu a jeho konstrukce	31
Zdroje tepla.....	38
Obecné porovnání vstupů pro zdroje tepla	38
Používané zdroje tepla	41
Kotel	46
Hlavní části kotle	47
Ohniště	47
Hořáky.....	48
Rošt	51
Pomocná zařízení	53
Tepelné čerpadlo.....	54
Princip funkce tepelného čerpadla	55
Základní souvislosti a veličiny.....	57
Chladiva a jejich značení	59
Chladiva a přírodní prostředí	62
Chladiva z hlediska bezpečnosti	64
Zdroje tepla pro tepelné čerpadlo.....	65

Provoz zdrojů tepla	74
Výběr zdrojů tepla	76
Souvislost s teplotou otopné vody	76
Souvislost s potřebným výkonem	81
Souvislost s regulovatelností zdroje.....	86
Souvislost s cenou energií.....	89
Porovnání jednotlivých kombinací zdrojů tepla a konečný výběr.....	95
Zpřesnění výsledků pro vybrané zdroje.....	104
Nezateplený stav	104
Zateplený stav	105
Spolupráce vybraných zdrojů tepla s otopnou soustavou.....	106
Topné médium	106
Pracovní podmínky prostředí.....	107
Akumulace soustavy.....	107
Zapojení do otopné soustavy	108
Ekonomické zhodnocení.....	110
Cena investice	110
Původní náklady na vytápění.....	110
Náklady na vytápění navrhovaných zdrojů	111
Cash flow	112
Ekonomická zhodnocení.....	114
Prostá doba návratnosti	115
Čistá současná hodnota	115
Ekonomické srovnání zateplení a výměny zdroje tepla	117
Možnosti financování	118
Využití bank.....	118
Využití státního programu	118
Základní podmínky výzvy pro jihočeský kraj.....	119
Výše podpory	120
Způsobitelné náklady	121
Nezpůsobitelné náklady	122
Dokumenty k podání žádosti	123
Po realizaci projektu	124
Legislativní změny	125

Závěr.....	126
Seznam použité literatury a zdrojů	131
Seznam příloh.....	134

Seznam použitých značek a veličin

Značka	Jednotka	Název veličiny
c_{pw}	[kJ/kg]	měrná tepelná kapacita vody
$C_{\%}$	[%]	četnost měrných výkonů
C_{el}	[kč/kWh]	cena elektřiny
C_{otopu}	[kč/rok]	cena otopu
C_{pal}	[kč/kWh]	cena paliva
C_{vst}	[kč/kWh]	cena vstupu
CF	[kč/rok]	cash flow (peněžní tok)
C_{Ft}	[kč/rok]	cash flow (peněžní tok) v konkrétním roce
$\check{C}SH$	[kč]	čistá současná hodnota
d	[-]	poměrná hustota plynu
D_1	[mm]	průměr plynové trysky
e_d	[-]	součinitel zkrácení doby vytápění
e_i	[-]	součinitel nesoučasnosti tepelné ztráty infiltrací a prostupem
e_t	[-]	součinitel snížení teploty v místnosti
g	[m/s ²]	tíhové zrychlení
h	[kJ/kg]	entalpie
H	[m]	výška
H_s	[kJ/m ³]	spalné teplo plynu

IN	[kč]	cena investice
k	[-]	konstanta objemu akumulární nádrže
K	[-]	konstanta převodu (směrnice měrného výkonu)
\dot{m}	[kg/s]	hmotnostní tok
\dot{m}_w	[kg/s]	hmotnostní tok vody
n	[-]	počet dní / teplotní exponent
n_0	[-]	počet dní otopné sezóny
N	[kč]	náklady
N_p	[kč]	pořizovací náklady
N_{pr}	[kč]	náklady provozu
p_k	[Pa]	tlak kondenzační
p_o	[Pa]	tlak vypařovací
Δp_1	[Pa]	přetlak zemního plynu
Δp_{sk}	[Pa]	statický podtlak
Δp_z	[Pa]	tlaková ztráta
P_H	[W]	výkon atmosférického hořáku
P_{ie}	[W]	výkon izoentropický
$Q_{\%}$	[-]	měrný topný výkon
$Q_{min\%}$	[-]	minimální měrný topný výkon
$Q_{N\%}$	[-]	jmenovitý měrný topný výkon

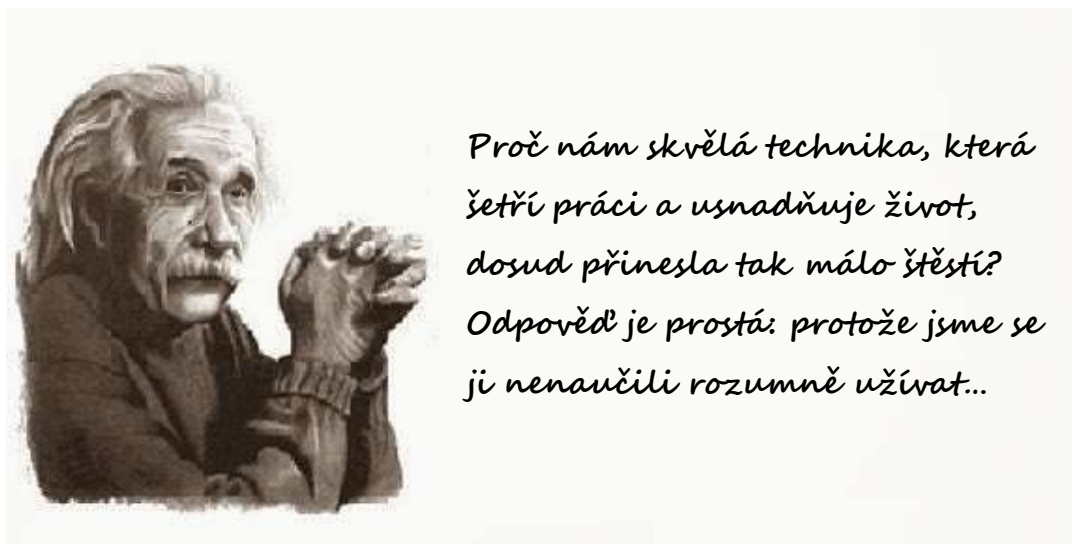
Q_c	[W]	tepelná ztráta objektu
Q_{celk}	[W]	celkový topný výkon
Q_d	[kWh]	množství dodaného tepla
Q_{dz}	[kWh]	množství tepla dodané doplňkovým zdrojem
Q_t	[W]	topný výkon
$Q_{tč}$	[kWh]	množství tepla dodaného tepelným čerpadlem
\dot{Q}_k	[W]	kondenzační výkon
\dot{Q}_o	[W]	chladicí výkon
\dot{Q}_{ot}	[W]	výkon topného tělesa při rozdílu teploty vody a vzduchu v místnosti
$\dot{Q}_{ot,v}$	[W]	výkon otopného tělesa při návrhovém rozdílu teploty vody a vzduchu v místnosti
\dot{Q}_z	[W]	tepelná ztráta objektu při aktuální teplotě venkovního vzduchu
$\dot{Q}_{z,v}$	[W]	tepelná ztráta objektu při vnější výpočtové teplotě
r	[-]	diskontní faktor
s	[J/(kg.K)]	entropie
t	[°C]	teplota
t_e	[°C]	venkovní teplota
t_{em}	[°C]	střední venkovní teplota během otopného období
$t_{e,max}$	[°C]	venkovní teplota ukončení otopného období

t_{ev}	[°C]	venkovní výpočtová teplota
t_i	[°C]	vnitřní teplota
t_k	[°C]	kondenzační teplota
t_o	[°C]	vypařovací teplota
t_{OD}	[°C]	teplota vratné vody
$t_{OD,N}$	[°C]	teplota vratné vody při venkovní návrhové teplotě
$t_{PŘ}$	[°C]	teplota přivedené vody
$t_{PŘ,N}$	[°C]	teplota přivedené vody při venkovní návrhové teplotě
Δt_{ot}	[°C]	rozdíl teplot vody a vzduchu v místnosti
$\Delta t_{ot,N}$	[°C]	návrhový rozdíl teplot vody a vzduchu v místnosti
Δt_w	[°C]	změna teploty otopné vody
$\Delta t_{w,N}$	[°C]	změna teploty otopné vody při vnější návrhové teplotě
TN_p	[roky]	prostá doba návratnosti
v	[m ³ /kg]	měrný objem
V_a	[l]	objem akumulární nádrže
\dot{V}	[m ³ /s]	objemový průtok
\dot{V}_{vp}	[m ³ /s]	potřebný objemový průtok vzduchu
\dot{V}_{vd}	[m ³ /s]	dodaný objemový průtok vzduchu
W_s	[kJ/m ³]	Wobeho číslo
ε_t	[-]	topný faktor

ε_{tie}	[-]	izoentropický topný faktor
ε_{tR}	[-]	reálný topný faktor
θ	[-]	bezrozměrná teplota
η_{dz}	[-]	účinnost doplňkového zdroje
η_k	[-]	účinnost kotle
η_o	[-]	součinitel účinnosti obsluhy (možnosti regulace soustavy)
η_r	[-]	součinitel účinnosti rozvodu vytápění
ξ	[-]	koncentrace chladivové směsi
$\Delta\rho$	[kg/m ³]	změna hustoty
τ	[-]	bezrozměrný počet dní
φ	[-]	rychlostní součinitel trysky

Úvod

Nebudu se opakovat s úvodem v mé bakalářské práci, kde autor píše, že energie je nejdůležitější věc ve vesmíru, k čemu všemu se používá a jak souvisí s vývojem lidstva. Rád bych zde však citoval jednoho z nejchytřejších lidí své doby...



Obr.1: Albert Einstein (1879 – 1955) [1]

Slova Alberta Einsteina mají docela jistě mnohem hlubší rozměr, než rozumné využívání technologií, avšak tato práce se bude částečně touto otázkou zabývat. Cílem práce je optimalizovat stávající otopný systém rodinného domu, čili najít na konkrétní případ rozumnou technologii pro výrobu a rozvod energie ve formě tepla.

Nejprve bude řeč o potřebě tepla – co znamená pro život, jak vzniká a jak se vykrývá, poté si řekneme něco ke zdrojům tepla – konkrétně bude řeč o kotlích a tepelných čerpadlech. Dále se zaměříme na spolupráci zdrojů tepla s otopnou soustavou. Po rešeršní části bude vždy následovat část praktická. Zde bude řešeno konkrétní provedení otopného systému a to pro nezateplený i zateplený rodinný dům a nakonec bude vše zhodnoceno.

Podotýkám, že diplomová práce bude navazovat na práci bakalářskou, takže se některá fakta budou opakovat a některá budou vzhledem k rozsáhlosti práce pouze znovu přiblížena.

Potřeba tepla

Potřeba tepla patří mezi základní předpoklady pro život. Každý živý organismus žije v nějakém prostředí, kde panuje určitý teplotní režim. Jinak je to na rovníku v tropech, jinak na pólech nebo v mořských hlubinách. Někde teplota během různých časových intervalů znatelně kolísá, jinde může být celý rok relativně stálá. Teplota je hlavním faktorem, který určuje vznik a základní vlastnosti klimatických pásem Země. Potom závisí na všem živém, jak se těmto podmínkám dokáže přizpůsobit. Existují tedy organismy chladnomilné, které si libují v polárních pustinách nebo zamrzlé tundře. Teplomilným druhům je zase nejlépe v tropických deštných pralesích kolem rovníku, kde ani v noci teplota nijak znatelně neklesá. Mezi živočichy a rostlinami najdeme i obzvláště přizpůsobivé druhy, schopné žít třeba v horkých vřídlech nebo naopak přežít zamrznutí v ledu.

Teplota prostředí ve vztahu k rostlinám a živočichům

Rostliny

Rostliny nemají vůbec vnitřní regulaci teploty, a přesto mají schopnost částečně regulovat svou teplotu a velkou schopnost přežít i velmi nepříznivé teploty například díky dormanci semen (tj. inhibice klíčení). Teplota rostliny je ale i tak často podobná teplotě okolí. Největší možnost regulace teploty mají rostliny v transpiraci, což je výdej vody povrchem těla rostliny, nejvíce listy. Transpiraci a tedy svou teplotu mohou rostliny regulovat opadem listů, jejich sklápěním a kroucením, lesklým povrchem listů...). Další možností, jak rostliny regulují teplotu, je tvorba silné kutikuly (např. sukulenty), trichomů, rostlinné formy „nemrznoucí směsi“ z nenasycených mastných kyselin, nebo rostlina ponechá v zemi pouze hlízy a přečká nepříznivé období.

Co se týče živočichů, tak ti mají o něco větší možnosti termoregulace. Rozlišujeme dva vývojové směry:

Ektotermní živočichové

Tělesná teplota těchto živočichů je závislá na teplotě okolí a tělesné aktivitě. Pro tyto živočichy platí, že produkují svým metabolismem málo tepla ve vztahu ke ztrátám a jejich aktivita s rostoucí teplotou, do určité míry roste. V chladných podmínkách snižují metabolismus, tvoří obaly, hledají úkryty. Extrémní teplota ale

znamená stav anabiózy nebo strnulosti či dokonce diapauzy (tj. stav, kdy se zastaví vývoj zárodků v nepříznivém období).

Endotermní živočichové

Tyto živočichové mají přibližně stálou tělesnou teplotu, nezávisle na okolí. Pro zvýšení teploty používají intenzivnější metabolismus, snižují prokrvení kůže, tepelně se izolují, nebo přizpůsobí své chování (vyhřívají se, shlukují do hejna...). Pro snížení teploty se potí, zvyšují prokrvení kůže nebo přizpůsobí své chování (koupou se, najdou si úkryt, zahrabou se...). V extrémních teplotách upadají někteří do stavu hibernace či estivace.

Teplota prostředí a člověk

Člověk patří do říše živočichů a řadí se mezi endotermní jedince, kteří nehibernují ani neestivují. Teplo si vytváříme chemicky, jako vedlejší produkt metabolismu (svaly, játra...) a při zvýšených nárocích (třesová a netřesová termogeneze). Naopak výdej tepla se děje sáláním, vedením, prouděním, dýcháním a pocením. Správná termoregulace znamená, že výdej i tvorba tepla jsou v rovnováze. Toto ale nelze vždy zajistit a během extrémních podmínek může dojít k poruchám termoregulace:

Podchlazení

Tento stav nastane při poklesu teploty tělesného jádra pod cca 26°C a vede v konečné fázi k selhání srdce. Pokud dojde k silnému lokálnímu podchlazení, i když teplota tělesného jádra neklesla pod kritickou teplotu, pak hovoříme o omrzlinách.

Přehřátí

K přehřátí dochází v horkém prostředí, často pokud je znemožněno pocení a to pokud teplota tělesného jádra vzroste na 42°C. V konečném stádiu ztrácí bílkoviny svou biologickou funkci a nastanou nevratné poruchy mozku. Krátkodobé přehřátí od slunce způsobuje úpal.

Z výše uvedeného je zřejmé, že člověk je poměrně citlivý na výkyvy teplot a tyto výkyvy mohou vést k vážným újmám na zdraví, nebo dokonce skončit exitem. Z tohoto důvodu se snažíme izolovat od okolních, často nepříznivých vlivů oblečením a svými obydlími.

Vznik potřeby tepla

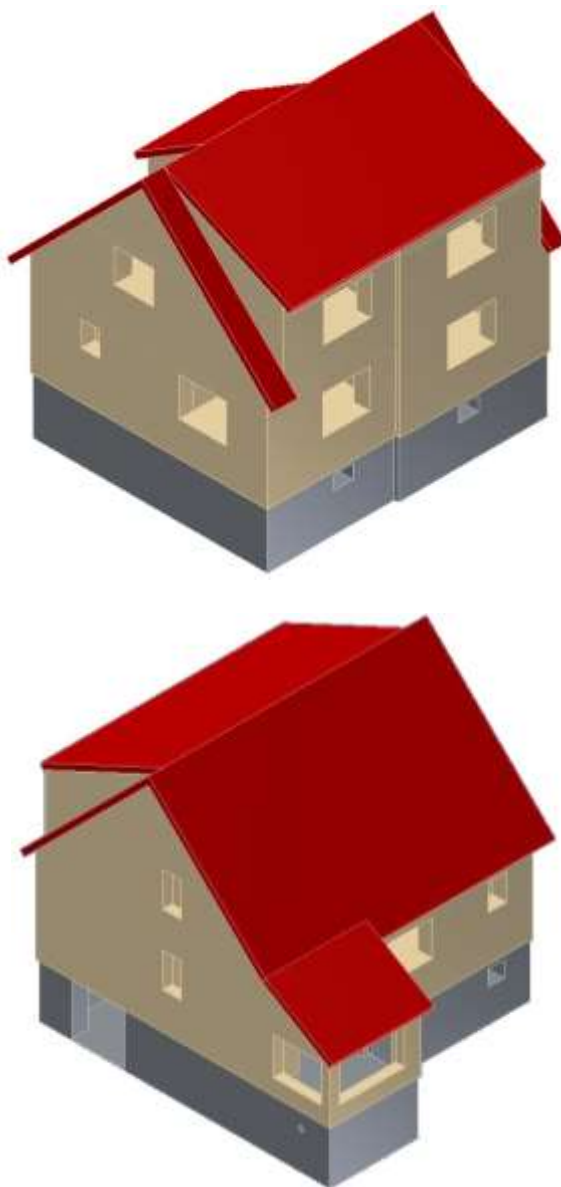
V předešlých odstavcích byla naznačena potřeba tepla z hlediska biologického a nyní bude následovat fyzikální vysvětlení. Předpokládejme, že by se obydlí dalo popsat jako izolovaná soustava – tj. termodynamická soustava, ve které by nedocházelo k výměně energie ani částic. Potom by nebylo třeba vůbec takové prostory vytápět, neboť na jejich ohřátí by stačilo metabolické teplo vyvinuté jejich obyvateli. Bohužel, takové obydlí neexistuje a ani nemůže existovat. Reálné obydlí se chová jako soustava otevřená, ve které dochází k výměně energie i částic.

Částice se vyměňují infiltrací netěsnostmi a větráním na základě rozdílu tlaků, a energie ve formě tepla se přenáší, poněvadž každá látka má schopnost přenášet teplo. Navíc některá látka přenáší teplo za stejných tepelných podmínek více a některá méně. Za tento rozdíl mohou fyzikální vlastnosti látky a způsob šíření tepla. Důvodem k šíření tepla je rozdíl teplot mezi částicemi jedné látky, nebo rozdíl teplot mezi dvěma látkami. Rozdílem teplot mezi dvěma libovolnými místy v témže čase nezvratně vzniká tepelný tok, který trvá tak dlouho, dokud se teploty nevyrovnají – nedospějí do termodynamické rovnováhy.

Pokud tedy chceme v jednotlivých místnostech obydlí udržet stálou teplotu (tzv. návrhovou teplotu), která je během otopného období vyšší, než teplota okolí, pak je třeba dorovnávat deficit způsobený tepelnými ztrátami, potažmo ohřátím infiltrovaného či větraného vzduchu. Tím vzniká potřeba tepla.

Řešený objekt

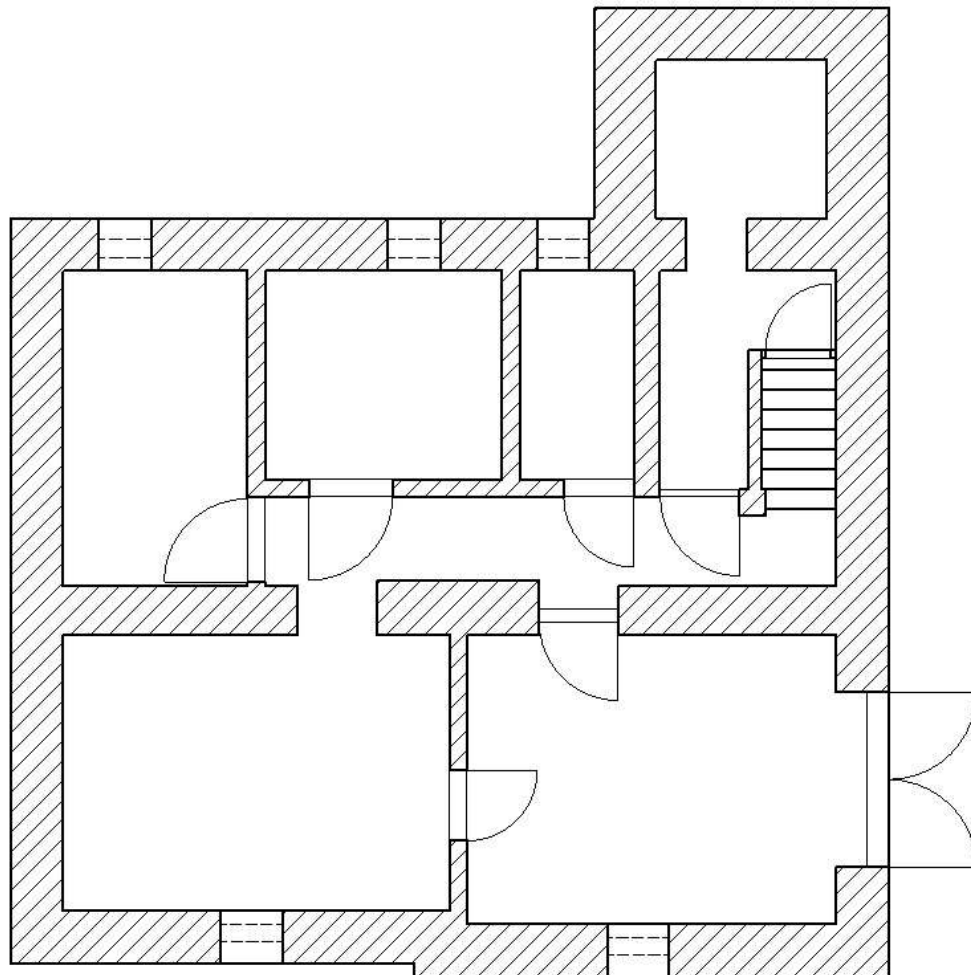
Objekt je typickým představitelem rodinného domu z padesátých až šedesátých let 20. století. Obytná plocha činí cca 125 m². Současný otop tohoto domu je řešený zastaralým kotlem na tuhá paliva a samotížnou soustavou s objemnými žebrovými otopnými tělesy. Celková náplň soustavy činí cca 250 litrů. Tento stav je nepřijatelný. Nový otopný systém bude optimalizován pro nezateplený a zateplený stav. Tepelná ztráta objektu v nezatepleném stavu činí téměř 14kW (byla vyměněna okna a částečně zaizolována střecha) a tepelná ztráta objektu v zatepleném stavu činí téměř 6kW (odhadovaný stav po kompletním zateplení pláště). Kompletní dokumentace je součástí přílohy 1.



Obr.2: Posuzovaný objekt

Suterén

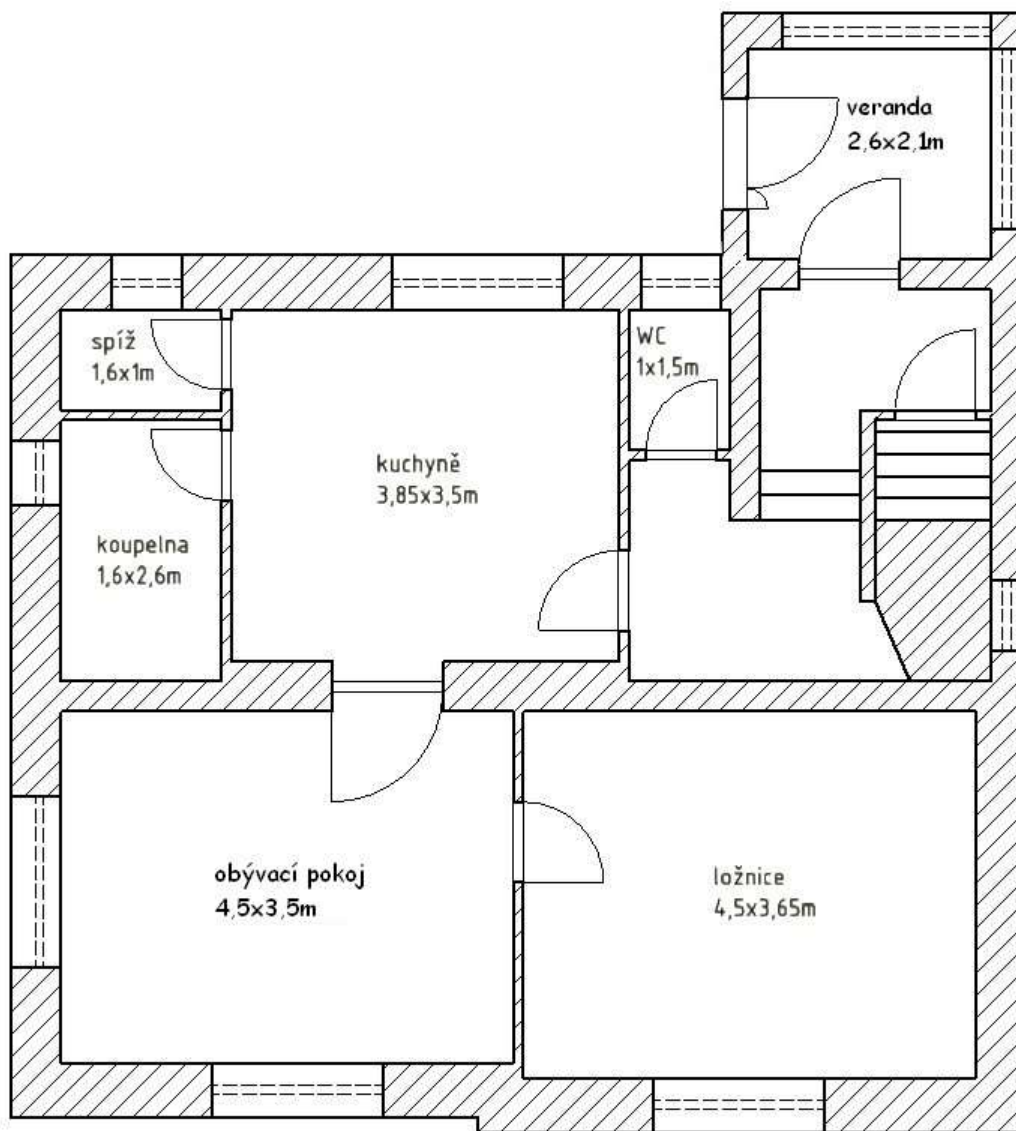
Suterén je vyhříváný pouze odpadním teplem z kotle, čili nevytápěný. Tím pádem se jeho vytápěním nebude řešit. Poslouží však jako technické zázemí pro zdroje tepla a jako skladovací prostor pro palivo, pokud bude potřeba.



Obr.3: Suterén

Přízemí

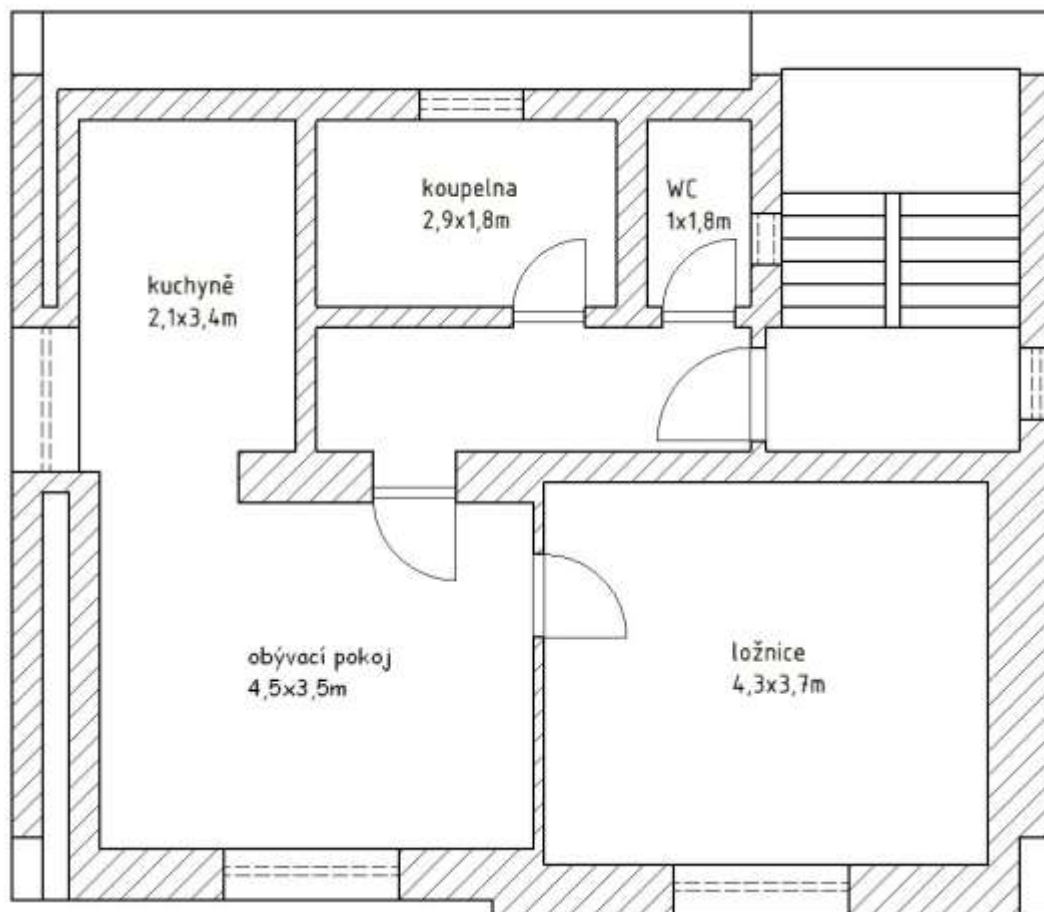
Přízemí je řešeno jako jedna obytná jednotka vytápěná ústředním topením. Všechny zdi jsou vystavěny z plných pálených cihel a jsou různé tloušťky. Obvodové zdivo je zvenku opatřeno brizolitovou omítkou a zevnitř jádrovou omítkou. Podlaha je někde betonová, někde dřevěná.



Obr.4: Přízemí

První patro

Přístavba v prvním patře byla vybudována v roce 1973. Jedná se o zvednutí části střechy a zvětšení obytného prostoru v podkrovní. První patro je řešeno, co se týče použitých materiálů a vytápění, stejně jako přízemí.



Obr.5:1.patro

Tepelný výkon

Velikost potřeby tepla se odvíjí od vývoje teplot v dané lokalitě během otopné sezóny. Mezní hodnoty potřeby tepla jsou limitovány nejnižší venkovní výpočtovou teplotou a nejvyšší venkovní teplotou, při které se vytápění ukončí. Pokud máme vykrývat potřebu tepla nějakým zdrojem (kotel, krbová kamna, krb, tepelné čerpadlo, solární články, elektrické topidlo, zářič...), potom musí jeho tepelný výkon sledovat tuto potřebu zvýšenou díky omezené účinnosti otopné soustavy – potom mluvíme o spotřebě.

Jmenovitý tepelný výkon

Nejnižší teplota, na kterou jsou tepelný zdroj i otopná plocha dimenzovány, je výpočtová venkovní teplota oblasti, ve které se budova nachází. Výpočtové teploty jsou v České Republice celkem čtyři a dosahují hodnot $t_e = -12^\circ\text{C}$; -15°C ; -18°C a -21°C . Výpočtové teploty podle oblastí jsou uvedeny v příloze 2 a teoreticky vytváří nejnižší tepelně ustálený stav. Zdroj tepla je navrhnout na vnější výpočtovou teplotu a při tomto stavu má tzv. jmenovitý tepelný výkon. [2] Je třeba zdůraznit, že výpočtové venkovní teploty nejsou extrémními nejnižšími teplotami, ale je jich dosaženo během několika po sobě následujících desítek hodin. Vystává tedy otázka, co se stane, když bude vnější teplota nižší. Pokud bude teplota nižší než vnější návrhová teplota, potom by logicky musela klesnout i vnitřní návrhová teplota v místnostech. K tomuto stavu ale málokdy dojde, uvážíme-li skutečnost, že vnější teplota klesne pod vnější návrhovou teplotu většinou jen na pár hodin. Během této doby poslouží akumulární schopnost objektu a schopnost nejběžnějšího zdroje tepla, tj. kotle, pružně reagovat a na krátkou dobu zvýšit zatížení výhřevných ploch i na 120%. Pokud vnější teplota rapidně klesne pod vnější návrhovou teplotu na dlouhou dobu, potom nejsme schopni bez použití jiného zdroje (přímotop, zářič, krb...) vykryt tepelné ztráty.

Nejnižší tepelný výkon

Nejnižší tepelný výkon má topný zdroj při venkovních teplotách, při kterých je vytápění ukončeno. Venkovní teplota pro ukončení vytápění je dána zvýšením teploty nad průměrnou denní hodnotu, dosahovanou po dva dny po sobě (bez ohledu na možnost snížení této teploty následující den). Jedná se opět o představu dosažení ustáleného teplotního stavu, pro který návrh provádíme. Volba tohoto kritéria nejvyšší venkovní teploty je závislá od akumulárních schopností budovy. Optimálně je uvažovaná teplota ukončení topné sezóny $t_{e \max} = +13^\circ\text{C}$. Pro budovy lehké bez akumulace se doporučuje teplota $t_{e \max} = +15^\circ\text{C}$. [2]

Otopné období

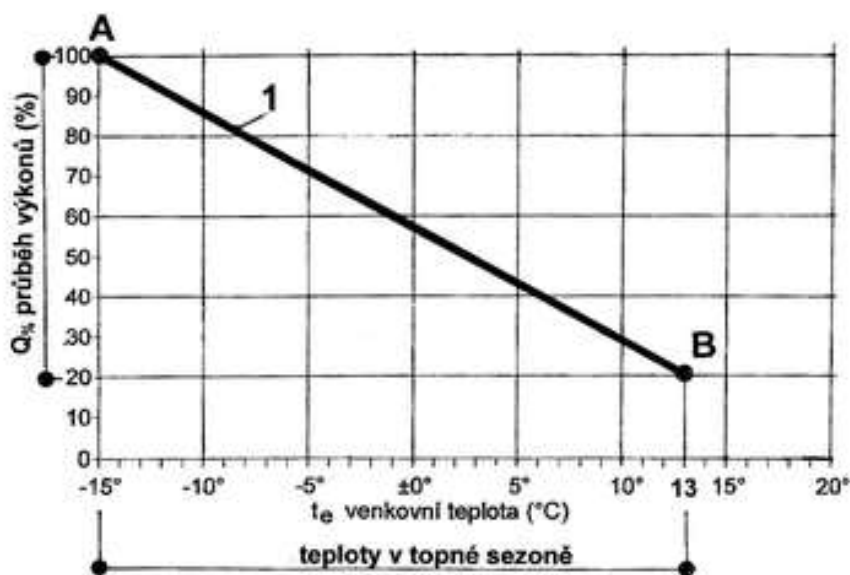
Otopné období je doba, po kterou trvá vytápění. To je dáno lokalitou viz příloha 2. Při vnější výpočtové teplotě $t_e = -15^\circ\text{C}$ a teplotě ukončení vytápění $t_{e \max} = 13^\circ\text{C}$ vychází otopné období přibližně na 250 dnů ~ 6000 hodin.

Vnitřní výpočtová teplota

Vnitřní výpočtová teplota je teplota uvnitř prostorů vytápěných přímo, úniky tepla nebo jen metabolickým teplem například od zvířat, či teplem, které vydávají stroje v tomto prostoru umístěné. Tato vnitřní výpočtová teplota tedy závisí na způsobu využití budovy, potažmo místnosti viz příloha 3. V bytových prostorách se nejčastěji uvažuje vnitřní výpočtová teplota $t_i=20^\circ\text{C}$.

Měrný výkon

Stanovení měrného výkonu v procentech během otopného období lze vyjádřit graficky podle následujícího obrázku:



Obr.6: Průběh měrného výkonu během otopného období pro $t_e=-15^\circ\text{C}$ a $t_{\max}=13^\circ\text{C}$ [2]

K lineární stupnici venkovních teplot na x-ové souřadnici přiřadíme lineární stupnici měrných výkonů na y-ové souřadnici. Průběh měrných výkonů $Q\%$ v procentech pak bude procházet mezi bodem A – tj. jmenovitý výkon ($Q_{N\%}$) pro teplotu $t_e = -15^\circ\text{C}$ a bodem B – tj. nejnižší výkon ($Q_{\min\%}$) pro teplotu $t_{\max} = +13^\circ\text{C}$, je lineární. [2]

Takto lze tedy vyjádřit závislost měrného výkonu na venkovní teplotě graficky. Početně bychom pro ty samé parametry hledali následovně lineární závislost:

$$Q_{\%} = K \cdot (t_i - t_{es}) [\%]$$

Když dosadíme do této rovnice bod A – tj. 100% výkon, předpokládanou vnitřní výpočtovou teplotu $t_i = 20^{\circ}\text{C}$ a venkovní teplotu t_{es} , která je v tomto bodě shodná s venkovní výpočtovou teplotou $t_e = -15^{\circ}\text{C}$, získáme konstantu převodu K, což je v podstatě směrnice úsečky AB.

$$K = \frac{Q_{\%}}{(t_i - t_e)} = \frac{100}{(20 - (-15))} = 2,857[-]$$

Nyní lze pro tyto výše uvedené podmínky zapsat kompletní rovnici pro měrný výkon, ze které lze získat procentuální výkon při libovolné venkovní teplotě t_{es} :

$$Q_{\%} = 2,857 \cdot (20 - t_{es}) [\%]$$

Z této logiky lze, pro zachování vnitřní výpočtové teploty $t_i=20^{\circ}\text{C}$ a venkovní teploty konce otopného období $t_{emax}=13^{\circ}\text{C}$, stanovit průběh měrného výkonu pro mezní kritéria venkovních výpočtových teplot t_e .

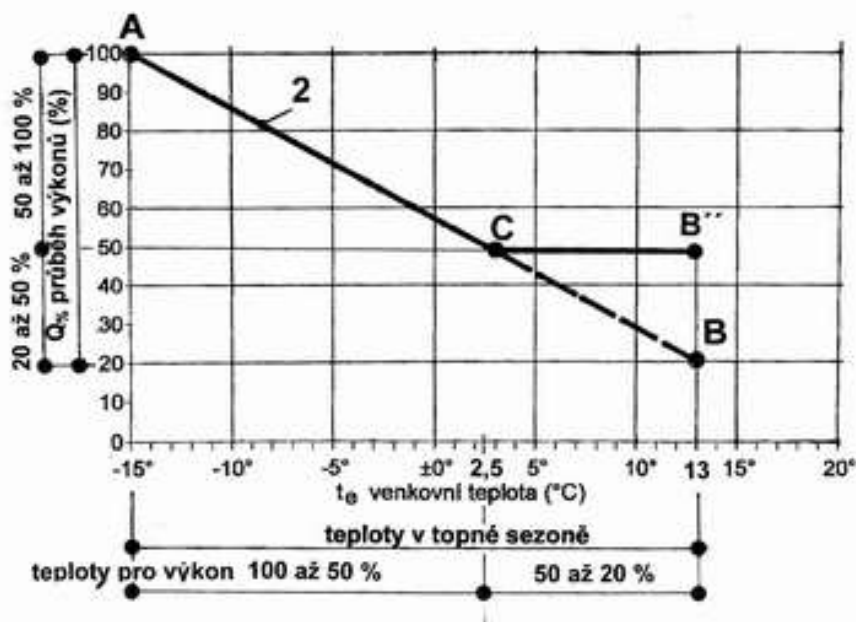
Tab.1: Průběh měrného výkonu pro mezní kritéria venkovních výpočtových teplot

Venkovní výpočtová teplota [$^{\circ}\text{C}$]	-12	-15	-18	-21
konstanta převodu K [-]	$\frac{100}{(20 + 12)}$ = 3,125	$\frac{100}{(20 + 15)}$ = 2,857	$\frac{100}{(20 + 18)}$ = 2,632	$\frac{100}{(20 + 21)}$ = 2,439
měrný jmenovitý výkon $Q_{\%A}$ [%]	$3,125 \cdot (20 + 12)$ = 100	$2,857 \cdot (20 + 15)$ = 100	$2,632 \cdot (20 + 18)$ = 100	$2,439 \cdot (20 + 21)$ = 100
měrný nejnižší výkon $Q_{\%B}$ [%]	$3,125 \cdot (20 - 13)$ = 21,9	$2,857 \cdot (20 - 13)$ = 20	$2,632 \cdot (20 - 13)$ = 18,4	$2,439 \cdot (20 - 13)$ = 17,1
Výkonový rozsah [%]	21,9-100	20-100	18,4-100	17,1-100

Regulace výkonu tepelného zdroje

Z výše uvedeného vyplývá potřeba regulovat výkon zdroje tepla od 17 - 22% do jmenovitého výkonu. Plynulá regulace znamená, že zdroj tepla dokáže sledovat úsečku AB. Tzn., že zdroj dodá vždy potřebné množství tepla, jaké odpovídá tepelné ztrátě budovy. V případě výpočtové oblasti -15°C , interní teplotě 20°C a teplotě pro ukončení vytápění 13°C , by tato regulace činila 20 - 100%. Jenže v tom je právě problém, neboť regulační schopnost tepelného zdroje je limitována provozními podmínkami a rozumnou účinností provozu.

Velmi často je regulační schopnost topného zdroje omezena. Zejména při nižších hodnotách tepelného výkonu. Například pro atmosférické plynové hořáky je běžně dosahováno plynulého regulování výkonu od 100 % až do 50 %. Tomu odpovídá úsečka AC na následujícím obrázku, čemuž odpovídají i teploty od $t_e = -15\text{ °C}$ do $t_e = +2,5\text{ °C}$. [2]



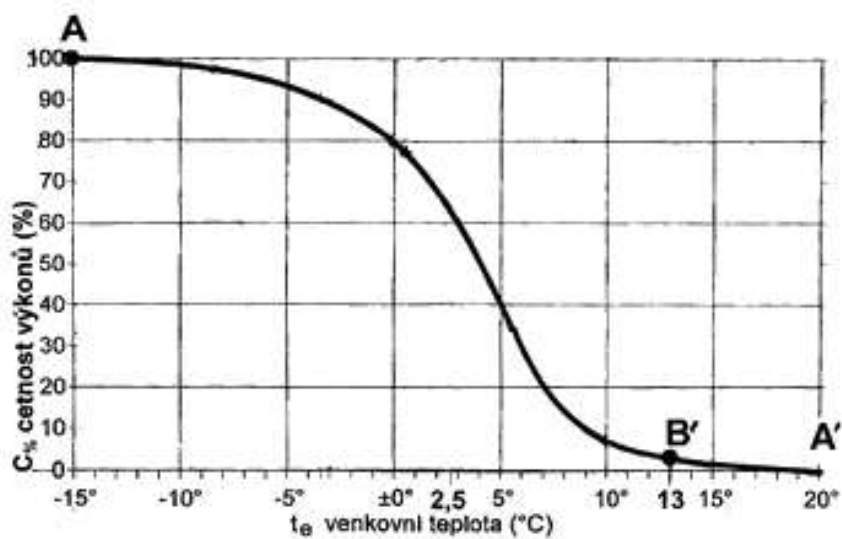
Obr.7: Regulace měrného výkonu během otopného období pro $t_e = -15\text{ °C}$ a $t_{max} = 13\text{ °C}$ [2]

Při nižším výkonu než je schopný zdroj tepla plynule regulovat, v tomto případě od 50% do 20%, je zdroj většinou provozován přerušovaně a to na své spodní hranici regulace. Výsledku tohoto působení odpovídá úsečka CB'' na předchozím obrázku.

Při větších výkonech je možné navrhnout více zdrojů tepla, které budou mnohem lépe sledovat úsečku měrného výkonu, protože v případě snížené potřeby lze jednoduše odstavit jeden nebo více zdrojů z provozu a provozovat tak zbylý zdroj nebo zdroje na úrovni lepší účinnosti.

Četnost výkonu v otopném období

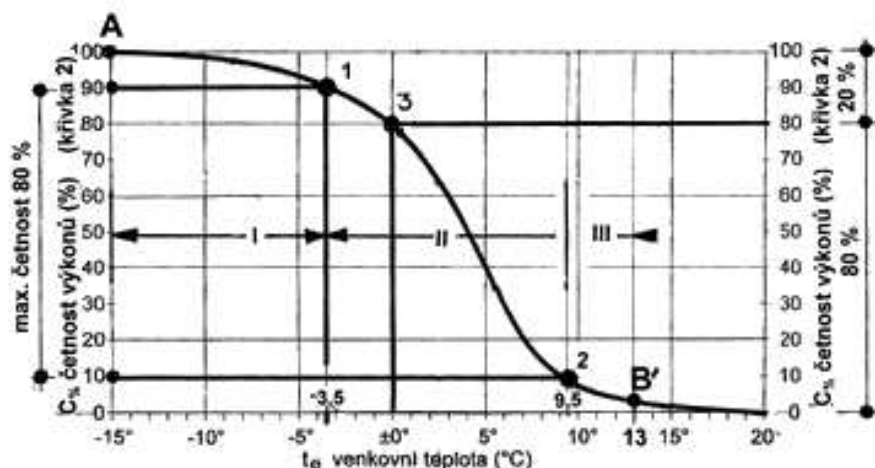
Křivka četnosti výkonu během otopného období vypadá jako křivka na následujícím obrázku.



Obr.8: Četnosti měrných výkonů $C_{\%}$ během otopného období $t_e = -15^{\circ}\text{C}$ a $t_{\text{max}} = 13^{\circ}\text{C}$ [2]

Souřadnice x je tvořena hodnotami teplot, které nastávají během otopného období, a souřadnice y vyjadřuje četnost výkonů v procentech, které jsou přiřazeny dané četnosti výskytu externích teplot. Pro otopné období během $t_e = -15^{\circ}\text{C}$ a $t_{\text{max}} = 13^{\circ}\text{C}$ je křivka omezena mezi body A a B'. Platí, že u teplot, kterým odpovídá pozvolná, skoro ležatá, část křivky, je četnost nízkého výskytu teplot. Naopak v úseku mezi teplotami, kterým odpovídá nejstrmější průběh křivky, vychází četnost těchto venkovních teplot v topném období největší. Křivka četnosti výkonů se tedy nechá rozdělit podle strmosti do třech pásem podle následujícího obrázku...

- Oblast I (od bodu A do bodu 1)
- Oblast II (od bodu 1 do bodu 2)
- Oblast III (od bodu 2 do bodu B')



Obr.9: Rozdělení četnosti výskytu měrných výkonů na teplotní pásma pro $t_e = -15^\circ\text{C}$ a $t_{max} = 13^\circ\text{C}$ [2]

Tento diagram je velice užitečný, neboť z něho lze určit hraniční teploty a tomu odpovídající externí teploty pro každé pásmo. Bodu 1 odpovídá venkovní teplota $t_{e1} = -3,5^\circ\text{C}$ a bodu 2 odpovídá venkovní teplota $t_{e2} = 9,5^\circ\text{C}$. V této oblasti označenou II je křivka nejstrmější a proto budou všechny teploty od $t_{e1} = -3,5^\circ\text{C}$ do $t_{e2} = 9,5^\circ\text{C}$ nejčastější – z grafu je zřejmé, že zaujímají 80% doby trvání (četnosti výskytu) [2]. Znamená to také, že mezi body 1 a 2 se nejčastěji pohybuje i měrný výkon a proto by měl mít zdroj i otopná soustava v tomto rozsahu nejvyšší účinnost:

- Měrný výkon v bodě 1:

$$Q_{\%1} = 2,857 \cdot (20 - (-3,5)) = 67,14\%$$

- Měrný výkon v bodě 2:

$$Q_{\%2} = 2,857 \cdot (20 - 9,5) = 30\%$$

Oblasti I a III, tzn. oblast mezi $t_e = -15^\circ\text{C}$ a $-3,5^\circ\text{C}$ (v měrných výkonech od 67,14% do 100%) a oblast mezi $t_e = 9,5^\circ\text{C}$ a 13°C (v měrných výkonech od 20% do 30%), zaujímají každá pouze 10% z celého otopného období. Toto je také hlavní důvod, proč v těchto oblastech není tolik důležité, jak účinný zdroj během těchto provozních stavů bude, neboť trvají desetinu otopného období a zaujímají nejmenší poměrné zastoupení potřeby tepla.

Tab.2: Souhrn sledovaných parametrů během otopného období dle pásem I až III

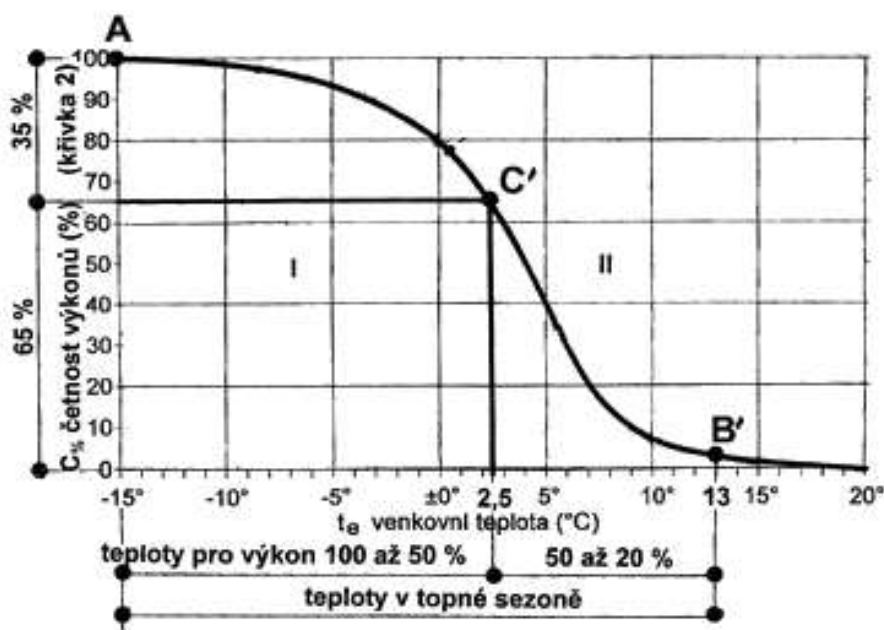
(platí $t_i=20^{\circ}\text{C}$ $t_{ev}=-15^{\circ}\text{C}$ a $t_{max}=13^{\circ}\text{C}$)

Parametr	Pásmo I	Pásmo II	Pásmo III
Rozsah externích teplot t_e [$^{\circ}\text{C}$]	-15 až -3,5	-3,5 až 9,5	9,5 až 13
Poměrná doba trvání [%]	10	80	10
Rozsah měrných výkonů [%]	100 až 67,14	67,14 až 30	30 až 20
Poměrné roční potřeby tepla [%]	16,8	78,17	5,03

Pro již zmíněný atmosférický hořák s možností regulace 50-100% pak vychází při $t_i = 20^{\circ}\text{C}$ $t_{ev} = -15^{\circ}\text{C}$ a $t_{e_{max}} = 13^{\circ}\text{C}$ mezní hodnota externí teploty t_e pro 50% výkon následovně:

$$t_{e50\%} = t_i - (t_i - t_{ev}) \cdot \frac{Q_{50\%}}{Q_{100\%}} = 20 - (20 - (-15)) \cdot \frac{50}{100} = 2,5^{\circ}\text{C}$$

Tato teplota rozdělí křivku četnosti měrných výkonů na 2 oblasti podle následujícího obrázku:



Obr.10: Rozdělení četnosti měrných výkonů hranicí 50% výkonem

(pro $t_i=20^{\circ}\text{C}$, $t_e=-15^{\circ}\text{C}$ a $t_{max}=13^{\circ}\text{C}$)[2]

- Oblast I (měrný výkon od 100% do 50% a tomu odpovídající externí teploty -15°C až 2,5°C)
- Oblast II (měrný výkon od 50% do 20% a tomu odpovídající externí teploty 2,5°C až 13°C)

Na křivce četnosti je toto rozdělení znázorněno bodem C. Četnost výskytu měrných výkonů od 100% do 50% zaujímá 35% doby trvání otopného období, zatímco četnost výskytu měrných výkonů od 50% do 20% zaujímá 65% doby trvání otopného období. Z toho plyne, že doba trvání neregulovaného provozu kotle (v případě pod 50% jmenovitého výkonu) je cirká dvojnásobná oproti době plynulé regulace (v našem případě od 50% do 100% měrného výkonu). Provoz kotle je tedy regulací zapnuto/vypnuto v otopném období cirká dvojnásobně delší, než je doba s plynulou regulací kotle. [2]

Diagram trvání výkonu a jeho konstrukce

Diagram trvání výkonu udává vztah mezi výkonem a dobou daného výkonu během otopného období. Je šikovným ukazatelem celkové roční potřeby tepla a umístění jednotlivých zdrojů tepla v uvažovaném systému. Konstrukce tohoto diagramu a jeho praktické využití je popsána v následujících odstavcích.

Nejprve je potřeba sestavit tzv. **diagram trvání venkovních teplot** v otopném období. K tomu je potřeba znát bezrozměrné hodnoty τ a θ .

Hodnota τ vyjadřuje poměr mezi počtem dnů k počtu dnů trvání otopné sezóny.

$$\tau = \frac{n}{n_0} [-]$$

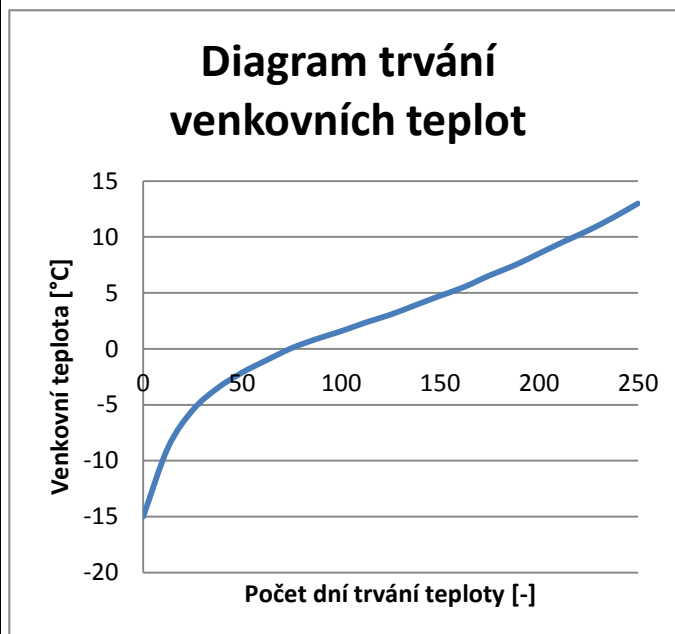
Hodnota θ vyjadřuje poměr rozdílu teploty konce otopného období a střední denní externí teploty k rozdílu teploty konce otopného období a externí výpočtové teploty.

$$\theta = \frac{t_{emax} - t_e}{t_{em} - t_{ev}} [-]$$

Hodnoty střední denní externí teploty t_e pro konkrétní oblasti eviduje ČHMÚ a jsou k dostání za úplatu. Při znalosti t_e známe i θ . Univerzální diagram trvání teplot sestavíme jako závislost τ a θ např. pro následující hodnoty takto:

Tab.3: Bezrozměrné veličiny τ a θ a z nich plynoucí n a t_e pro konkrétní oblast.

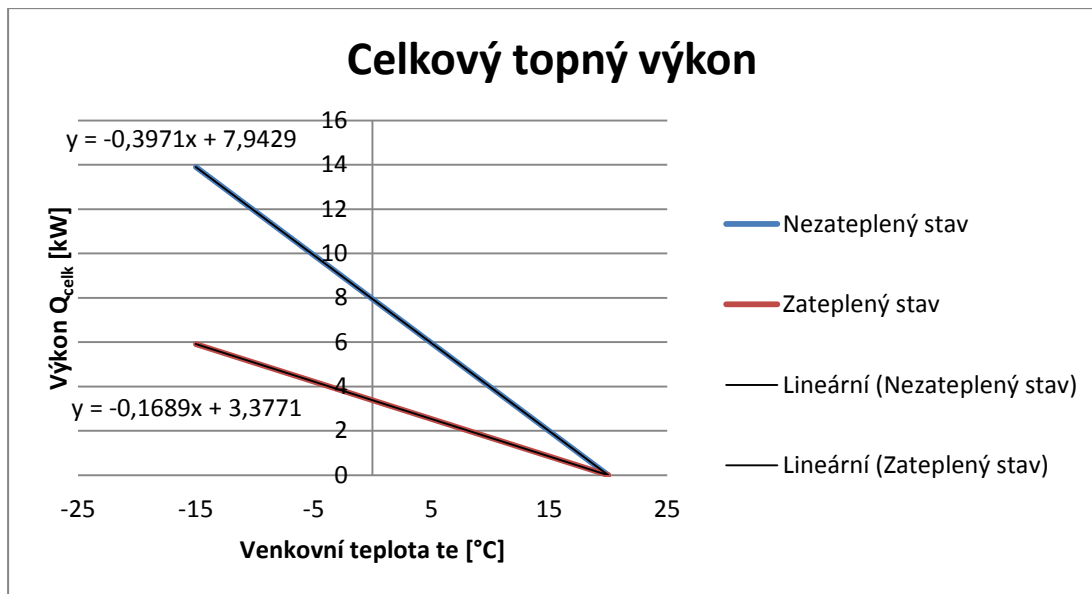
Tau	Theta	n [-]	t_e [°C]
0	1	0	-15
0,05	0,78	12,5	-8,84
0,1	0,66	25	-5,48
0,15	0,59	37,5	-3,52
0,2	0,54	50	-2,12
0,25	0,5	62,5	-1
0,3	0,462	75	0,064
0,35	0,433	87,5	0,876
0,4	0,408	100	1,576
0,45	0,38	112,5	2,36
0,5	0,355	125	3,06
0,55	0,325	137,5	3,9
0,6	0,295	150	4,74
0,65	0,266	162,5	5,552
0,7	0,23	175	6,56
0,75	0,198	187,5	7,456
0,8	0,16	200	8,52
0,85	0,122	212,5	9,584
0,9	0,086	225	10,592
0,95	0,045	237,5	11,74
1	0	250	13



Obr.11: Univerzální diagram trvání venkovních teplot pro výpočtovou oblast $t_{ev}=-15^{\circ}\text{C}$, $t_{emax}=13^{\circ}\text{C}$, $n_0=250$ dní a konkrétní hodnoty θ .

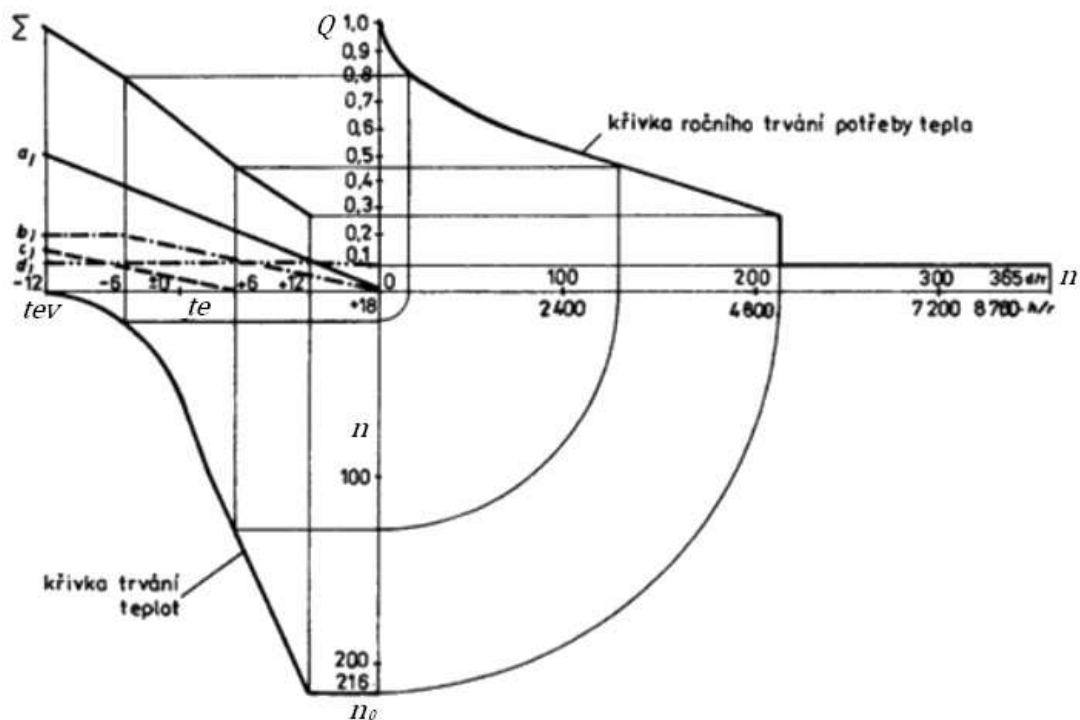
Dále je třeba sestavit **závislost topného výkonu na venkovní teplotě**. Výsledný diagram je obecně součtem jednotlivých potřeb tepla na vytápění obytných prostor, průmyslových prostor, ohřev teplé užitkové vody (TUV) a jiné... Je třeba říci, že ne všechny složky, které si vyžadují topný výkon, závisí na okolní teplotě. Např. ohřev TUV je při zanedbání mírného kolísání teploty přírodní vody na okolní teplotě nezávislý. V případě rodinného domu bude dále uvažován pouze topný výkon na pokrytí otopu. Pak tento diagram vypadá podobně, jako diagram měrného výkonu, pouze je v absolutních hodnotách, které určuje tepelná ztráta objektu Q_c .

V příkladu na následujícím obrázku je uvedena závislost celkového otopného výkonu pro dvě různé tepelné ztráty cca 14kW a 6kW. Je zřejmé, že pro větší ztrátu, čili nezateplený objekt bude potřeba vyšší topný výkon.



Obr.12: Závislost topného výkonu na venkovní teplotě pro konkrétní tepelné ztráty, výpočtovou oblast $t_{ev}=-15^{\circ}C$ a interní teplotu $t_i=20^{\circ}C$

Pokud známe diagram trvání venkovních teplot a závislost topného výkonu na venkovní teplotě, tak je možné sestavit **diagram trvání výkonu**. Postup je takový, že se z diagramu trvání teplot odečte venkovní teplota t_e pro určitý počet dnů otopné sezóny n . Ze závislosti topného výkonu na venkovní teplotě lze pro tuto teplotu t_e odečíst velikost odpovídajícího celkového topného výkonu Q_{celk} . Tím lze obdržet závislost Q_{celk} na n pro stejnou hodnotu t_e . Aplikací tohoto postupu pro různé hodnoty lze sestavit roční křivku trvání výkonu. Pro ilustraci závislostí v tomto diagramu slouží následující obrázek.



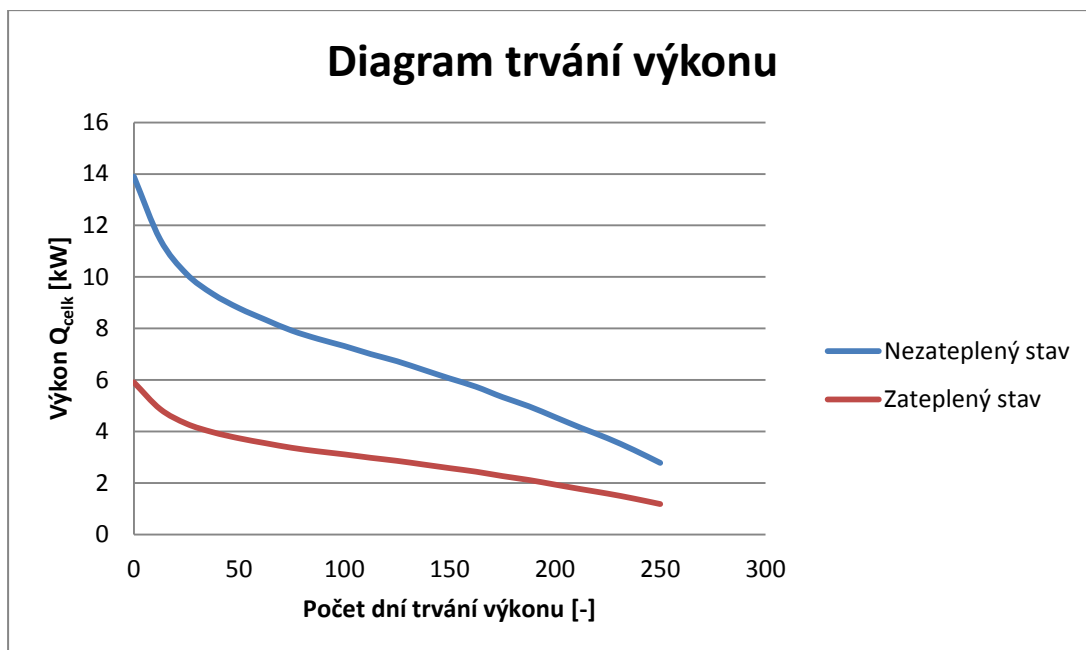
Konstrukce křivky ročního trvání potřeby tepla

a) vytápění a přirozené větrání obytných budov, b) větrání průmyslových objektů, c) vytápění průmyslových objektů, d) teplá užitková voda
 Σ – celkový tepelný příkon z tepelné sítě

Obr.13: Závislosti v diagramu trvání výkonu [3]

Na tomto názorném obrázku jsou vidět všechny podstatné věci. Ve druhém kvadrantu lze vidět celkovou závislost topného výkonu na teplotě pro $t_{ev} = -12^{\circ}\text{C}$ a $t_{max} = 13^{\circ}\text{C}$, která je sumou dílčích tepelných potřeb, kde jediná složka nezávisí na venkovní teplotě a to je složka pro ohřev TUV. Ve třetím kvadrantu je znázorněna křivka trvání teplot pro $t_{ev} = -12^{\circ}\text{C}$, $t_{max} = 13^{\circ}\text{C}$ a $n_0 = 216$ dnů. A konečně v prvním kvadrantu je vidět diagram trvání výkonu. Zde se odráží celoroční neměnná složka pro ohřev TUV.

Pro náš zvolený případ vypadá diagram trvání výkonu následovně:



Obr.14: Diagram trvání výkonu pro výpočtovou oblast $t_{ev}=-15^{\circ}\text{C}$, $t_i=20^{\circ}\text{C}$, $t_{emax}=13^{\circ}\text{C}$, $n_0=250$ dní a tepelné ztráty cca 6kW a 14kW

Celkově tímto postupem získáme závislost $n - t_e - Q_{celk}$:

Tab.4: Závislost dny-externí teplota-celkový topný výkon pro řešený případ

dny n [-]	externí teplota t_e [$^{\circ}\text{C}$]	výkon nezateplený stav Q_c [kW]	výkon zateplený stav Q_c [kW]
0	-15	13,9	5,91
12,5	-8,84	11,4536	4,86984
25	-5,48	10,1192	4,30248
37,5	-3,52	9,3408	3,97152
50	-2,12	8,7848	3,73512
62,5	-1	8,34	3,546
75	0,064	7,91744	3,366336
87,5	0,876	7,59496	3,229224
100	1,576	7,31696	3,111024
112,5	2,36	7,0056	2,97864
125	3,06	6,7276	2,86044
137,5	3,9	6,394	2,7186
150	4,74	6,0604	2,57676
162,5	5,552	5,73792	2,439648
175	6,56	5,3376	2,26944
187,5	7,456	4,98176	2,118144
200	8,52	4,5592	1,93848
212,5	9,584	4,13664	1,758816
225	10,592	3,73632	1,588608
237,5	11,74	3,2804	1,39476
250	13	2,78	1,182

Množství tepla, dodané v určitém kroku, který jsme zvolili během celého otopného období, se zjistí pomocí denostupňové metody použité po zvoleném kroku následovně:

$$Q_{di} = 24 \cdot Q_{ci} \cdot \frac{d_i \cdot (t_i - t_{esi})}{(t_i - t_{ei})} \text{ [W]}$$

Kde:

Q_{di}množství tepla dodané během zvoleného kroku [W]

Q_{ci} průměrná tepelná ztráta objektu během zvoleného kroku [W]

d_i počet dnů zvoleného kroku[dny]

t_ivnitřní výpočtová teplota z váženého průměru [°C]

t_{esi}střední venkovní teplota během zvoleného kroku [°C]

t_{ei} nejnižší teplota během zvoleného kroku [°C]

Celkové množství tepla dodané je pak sumou jednotlivých kroků a představuje potřebu tepla pro celé otopné období. Pro spotřebu se tato suma vynásobí členem účinností. Pro konkrétní případ tedy můžeme zjistit spotřebu tepla a podle toho situovat tepelný zdroj nebo zdroje a u každého určit přibližně dobu provozu, teplo dodané tímto zdrojem, spotřebu vstupů atd.

$$Q_d = \sum Q_{di} \cdot \frac{e_i \cdot e_t \cdot e_d}{\eta_o \cdot \eta_r}$$

Kde:

Q_dcelkové množství tepla dodané během otopného období [W]

e_i součinitel nesoučasnosti tepelné ztráty infiltrací a prostupem [-]

e_t součinitel snížení teploty v místnosti během dne respektive noci [-]

e_d součinitel zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu [-]

η_o součinitel účinnosti obsluhy resp. možnosti regulace soustavy [-]

η_r součinitel účinnosti rozvodu vytápění [-]

-součinitel e_i se volí v rozmezí 0.8 až 0.9 protože ztráta infiltrací tvoří cirká 10-20% celkové tepelné ztráty; volím $e_i = 0,85$.

- součinitel e_t se volí v rozmezí 0.8 např. pro školy s polodenním vyučováním až po 1 pro nemocnice, kde vyžadujeme výkon po celý den; v našem případě volím $e_t = 1$
- součinitel e_d se volí od 1 pro budovy se sedmidenním provozem, přes 0.9 pro budovy se šestidenním a 0.8 pro budovy s pětidenním provozem; volím $e_d = 1$
- účinnost obsluhy resp. možnosti regulace soustavy se volí v rozmezí 0.9 pro kotelnu na pevná paliva až po 1 pro plynovou kotelnu s otopnou soustavou rozdělenou do sekcí; v našem případě volím $\eta_o = 0,95$
- účinnost rozvodu vytápění se volí obvykle od 0,95 do 0,98 podle provedení; volím $\eta_r = 0,95$

Pro zvolený konkrétní případ potom vychází závislosti podle následující tabulky.

Tab.5: Závislosti $n-t_e-Q_c-Q_d$ pro konkrétní případ

dny $n[-]$	externí teplota $t_e [^{\circ}\text{C}]$	topný výkon nezateplený $Q_c [\text{kW}]$	topný výkon zateplený $Q_c [\text{kW}]$	spotřeba tepla nezateplený $Q_d [\text{kWh}]$	spotřeba tepla zateplený $Q_d [\text{kWh}]$
0	-15	13,9	5,91	3897,720484	1657,232234
12,5	-8,84	11,4536	4,86984	3225,803823	1371,546805
25	-5,48	10,1192	4,30248	2855,455615	1214,082208
37,5	-3,52	9,3408	3,97152	2637,371901	1121,357406
50	-2,12	8,7848	3,73512	2480,993335	1054,868389
62,5	-1	8,34	3,546	2355,371404	1001,456475
75	0,064	7,91744	3,366336	2236,540576	950,9320003
87,5	0,876	7,59496	3,229224	2145,616783	912,2730351
100	1,576	7,31696	3,111024	2066,836829	878,7773854
112,5	2,36	7,0056	2,97864	1979,003167	841,4322819
125	3,06	6,7276	2,86044	1900,051057	807,8634351
137,5	3,9	6,394	2,7186	1805,714721	767,7535254
150	4,74	6,0604	2,57676	1711,456722	727,6769229
162,5	5,552	5,73792	2,439648	1619,562987	688,6055577
175	6,56	5,3376	2,26944	1506,729754	640,6311398
187,5	7,456	4,98176	2,118144	1405,313129	597,5108338
200	8,52	4,5592	1,93848	1285,662977	546,6379994
212,5	9,584	4,13664	1,758816	1166,277437	495,877673
225	10,592	3,73632	1,588608	1051,953554	447,2694607
237,5	11,74	3,2804	1,39476	921,6481698	391,8662362
250	13	2,78	1,182	---	---
Celkem [MWh/rok]				40,25508442	17,115651

Výstupem z této kapitoly jsou tedy závislosti, podle kterých se volí zdroj tepla a jeho umístění v systému. Pro konkrétní případ bude třeba dodat přibližně 40,3 MWh/rok tepla pro nezateplený stav a 17,2 MWh/rok tepla pro zateplený stav.

Zdroje tepla

Zdrojem tepla budeme rozumět technické zařízení, které dodává tepelnou energii pro otop. Tento zdroj by měl být navržen projektantem tak, aby dodal dostatek tepelné energie potřebné na pokrytí tepelných ztrát objektu a neměl by být zbytečně předimenzován – viz dříve. Volba zdroje tepla závisí také na tom, jaká paliva či energie máme v dané lokalitě k dispozici.

Ve městech je v současné době (mimo centrálního zásobování teplem) rozšířeným palivem zemní plyn. V oblastech bez plynofikace se využívají zejména tuhá paliva (uhlí, dříví, pelety, brikety, štěpka), méně často kapalná paliva (lehký topný olej a kapalný plyn propan-butan), případně topidla na elektřinu (elektrokotle, přímotopy).

Zvláštní a neméně zajímavou kapitolou jsou alternativní zdroje tepla, které využívají přírodních zdrojů tepla (solární panely, tepelná čerpadla). Jejich použití je zatím ale zatíženo špatnou ekonomickou návratností. A s ekonomikou pořízení a provozu samozřejmě souvisí i konečná volba zdroje tepla.

Obecné porovnání vstupů pro zdroje tepla

Elektřina

Vytápění přeměnou elektrické energie má řadu výhod. Hlavním důvodem je její dostupnost a jednoduché rozvody. Další výhodou je to, že cena topidel je většinou nízká a účinnost přeměny v teplo velmi vysoká. Ovšem je důležité si uvědomit, že výroba elektřiny je už mnohem méně účinná. Většina elektřiny se v ČR vyrobí v parních a jaderných elektrárnách, které mají účinnost mimo jiné limitovanou svým tepelným cyklem (Rankin-Clausiusův cyklus). Účinnost tohoto cyklu se pohybuje v rozmezí 35% až 40% u nejlepších zdrojů v zimě. S tímto faktem souvisí také velká nevýhoda elektřiny, a sice její cena.

Elektřinou lze vytápět pomocí přímotopů, čili nepřetržitě bez akumulace tepla. V takovém případě se používají např. elektrické kotle pracující na principu odporové spirály, sálavé panely, elektrické konvektory... Výhodou těchto zdrojů je jejich provozní pružnost. Dále lze využít elektrických topidel, které jsou schopné akumulovat teplo. K tomu se používají například akumulární nádrže s vodou, nebo speciální akumulární hmotou z keramiky.

Vytápění elektřinou je vhodné zvažovat u domů s malou energetickou náročností na otop (tzv. pasivních domů). Důvodem jsou v tomto případě vyšší náklady na zbudování klasické otopné soustavy.

Plynná paliva

Vytápění plynem se v ČR realizuje zemním plynem, nebo propan-butanem. Vytápění propan-butanem je dražší s ohledem na provozní i investiční náklady, než vytápění zemním plynem. A vytápění zemním plynem je levnější než vytápění elektřinou. Plyny nelze mezi sebou zaměnit, kvůli jejich rozdílným fyzikálním vlastnostem, které charakterizuje tzv. Wobeho číslo W_s . Je vlastně kritériem záměnnosti plynů a vyjadřuje podmínku zachování tepelného příkonu spotřebiče při změně spalovacích vlastností plynu.

$$W_s = \frac{H_s}{\sqrt{d}} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right]$$

Kde:

H_sspalné teplo plynu [kJ/m³]

d poměrná hustota plynu [-]

Výhodou zemního plynu je, že je většinou snadno dostupný, plynové hořáky disponují velikou účinností spalování a velkou regulovatelností a při spálení zemního plynu vzniká malé množství emisí, čili mluvíme o ekologickém zdroji.

Plynem lze vytápět lokálně nebo centrálně. Lokální topidla se instalují do každé místnosti zvlášť, mohou být konvekční (nevýhodou je nutnost řešit odvod spalin), nebo sálavé (ta se využívají spíše pro průmyslové účely a spaliny se rozptylují do vytápěného prostoru, mají výhodu velkého výkonu na malou plochu). Pro centrální vytápění se nejběžněji používají buď klasické spalovací kotle

s účinností kolem 90%, nebo kotle kondenzační, které dosahují účinnosti až kolem 110%. Nevýhodou je však jejich cena a nižší maximální možná teplota ohřívání vody (kolem 50°C). [4]

Poznámka:

Ve většině evropských zemí se účinnost kotle vztahuje k výhřevnosti, což je celková energie, která vznikne dokonalým spálením 1kg paliva při dochlazení spalin na 20°C, bez kondenzace vodní páry ze spalin. Ale pokud využijeme i kondenzační teplo páry, mluvíme o spalném teple. Spalné teplo je tedy větší o energii, získanou z kondenzace páry. Proto je účinnost kondenzačních kotlů udávána vyšší než 100%, ale vzhledem ke spalnému teple by to byla hodnota účinnosti kotle pochopitelně nižší.

Kapalná paliva

Kapalná paliva se v současné době příliš nepoužívají. Uplatňují se zejména tam, kde se nevyplatí budovat inženýrské sítě a zároveň je nevhodné topit klasickými topidly na tuhá paliva. Taková místa jsou na okraji civilizace, nebo v mobilních obydlích, kde se hledí na minimalizaci objemu paliva (většina kapalných paliv má vysokou výhřevnost). V našich podmínkách se nejčastěji používá lehký topný olej (LTO). Méně často se využívá nafty, neboť ta se používá zpravidla tam, kde je potřeba dopravovat naftu i pro pohon jiných strojů.

Kotle na kapalná paliva je možné zcela automatizovat, nabízí vysoký komfort vytápění bez obsluhy a mají dobrou možnost regulace. Naopak tyto kotle jsou nákladné, potřebují speciální a drahý zásobník paliva blízko objektu, hrozí kontaminace při úniku paliva nebo dokonce výbuch výparů. Princip vytápění je jinak podobný jako u vytápění plynem.

Tuhá paliva

Rozdělávání ohňů a spalování tuhých paliv je staré jako lidstvo samo. Není tedy divem, že tento způsob vytápění byl a na některých místech je stále nejrozšířenější. Tuhá paliva mají spoustu nevýhod. Musí se vytěžit, upravit, převézt, často vysušit, změnit granulometrii, skladovat... Tuhá paliva se mohou také snadno stát neekologickými při využití špatné technologie, či nekvalitního paliva. Kromě nadměrných emisí, které znečišťují ovzduší, mohou také přinášet i vznik velkého množství nespálených tuhých zbytků a tudíž i nižší účinnost hoření.

Tuhými palivy lze vytápět lokálně v krbech, krbových či kachlových kamnech, sporácích. Jejich regulace a automatizace je ovšem velmi omezená, zato mají estetický efekt a vytváří citelné teplo díky radiaci. Pro centrální vytápění se používají buď méně efektivní klasické kotle s účinností do 60%, nebo efektivnější zplyňovací kotle, které dosahují účinnosti až 85%. Kotle pro centrální vytápění mají ovšem mnohem větší možnosti regulace, automatizace a mají také obecně vyšší účinnost než lokální topidla.

Obnovitelné zdroje

Obnovitelný zdroj energie je označení některých vybraných, na Zemi přístupných forem energie, získané primárně především z jaderných přeměn v nitru Slunce. Dalšími zdroji jsou teplo zemského nitra a setrvačnost soustavy Země-Měsíc. Lidstvo je čerpá ve formách např. slunečního záření, větrné energie, vodní energie, energie přílivu, geotermální energie, biomasy a další. Definice obnovitelných zdrojů energie podle zákona o životním prostředí zní: „Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka.“ [5]

Výhodou těchto zdrojů je, že když se samy obnovují, tak i jejich cena neroste tak rychle, jako u zdrojů neobnovitelných, nebo jsou dokonce k dostání zcela zdarma. Další výhodou je, že tyto zdroje jsou rozšířené po celém světě a tedy dosažitelné, byť někdy obtížně. Některé obnovitelné zdroje disponují konstantním výkonem po celý rok a některé nikoliv a v takovém případě to znamená velkou nevýhodu a nutnost záložního zdroje.

Pro účely vytápění se nejčastěji používají zařízení na spalování biomasy, tepelná čerpadla a solární panely.

Používané zdroje tepla [6]

Krbová vložka / krbová kamna

Krbovou vložku, krbová kamna na dřevo je možné použít jako doplňkový zdroj (krbová kamna, krbová vložka bez výměníku) nebo i jako hlavní zdroj vytápění (krbová kamna, krbová vložka s výměníkem). Krbovou vložku s výměníkem zapojujeme prioritně s akumulací nádrží, protože jedině tak můžeme

efektivně využívat teplo z ní získané. Ve výjimečných případech je lze instalovat i bez akumulční nádrže. Používají se v rodinných domech.

Klady

- Nízká cena paliva
- Interiérový doplněk
- U typů bez výměníku rychlá a snadná instalace
- Lze napojit na stávající systém

Zápory

- Pracné získávání paliva
- U většiny typů nutnost příkládání
- U zdrojů s výměníkem náročnější instalace a obsluha
- Nutnost skladovacího prostoru pro palivo

Investice: 25 000 — 120 000 Kč

Roční provoz: 22 000 — 79 000 Kč

Náklady po 10 letech: 457 000 — 1 675 000 Kč

[6]

Elektrický kotel

Novodobé elektrické kotle se vyznačují vysokou efektivností a jejich příkony se pohybují od 7,5kW do 22kW. Svým majitelům přinese elektrický kotel komfort v podobě jednoduchého provozu, který nevyžaduje žádnou péči. Nastavuje se pouze teplota na ovládacím termostatu, jež určuje teplotu vzduchu v místnosti. Elektrický kotel je považován též za velmi ekologický (v případě, že neposuzujeme výrobu elektrické energie).

Klady

- Výhodná cena elektřiny pro celou domácnost
- Ekologicky šetrný systém
- Plně automatický provoz
- Minimální nároky na údržbu
- Rychlá a snadná instalace
- Lze zapojit na stávající systém
- Nízká pořizovací cena
- Minimální nároky na prostor

Zápory

- Závislost na růstu cen energií
- Vysoké náklady na provoz

Investice: 17 000 — 21 000 Kč

Roční provoz: 35 000 — 126 000 Kč

Náklady po 10 letech: 591 000 — 2 170 000 Kč [6]

Kotel na pelety

Kotle na pelety se během posledních let díky dotačnímu programu zelená úsporám staly velmi používaným způsobem vytápění rodinných domů. Náklady na vytápění během jedné sezony lze porovnat s tepelným čerpadlem. V porovnání s topením plynem mohou být náklady na vytápění až o 30% nižší. Vhodné je zapojení kotle do vysokoteplotních topných systémů s radiátory nebo ve spojení s akumulací nádrží. Pelety produkuje mnoho firem, které se zabývají zpracováním dřeva, jako druhotného produktu. Na trhu již dnes existují kotle, které lze použít na pelety a zároveň na jiná tuhá paliva.

Klady

- Nízké provozní náklady
- Ekologicky šetrný systém
- Plně automatický provoz
- Minimální odpad ze spalování
- Lze zapojit na stávající systém

Zápory

- Potřeba suchých skladovacích prostor
- Nestabilní cena paliva

Investice: 60 000 — 80 000 Kč

Roční provoz: 19 000 — 72 000 Kč

Náklady po 10 letech: 412 500 — 1 450 000 Kč [6]

Kotel na dřevo

Jedná se o vysokoteplotní zdroje, a tudíž jsou vhodné pro topné systémy s radiátory nebo v zapojení na akumulaci nádobu. V případě, že uvažujete o výměně starého kotle na dřevo za nový, je vhodné zvážit i rekonstrukci tepelných rozvodů. Staré otopné systémy mají obvykle velký objem vody, trendy však ukazují, že je

vhodné ohřívat co nejmenší objem vody – např. setrvačnost systému, spotřeba paliva.

Klady

- Nízké provozní náklady
- Ekologicky šetrný systém
- Minimální odpad ze spalování
- Lze zapojit na stávající systém

Zápory

- Pracné získávání paliva
- U většiny typů nutnost příkladání
- Nutnost skladovacího prostoru pro palivo

Investice: 22 000 — 35 000 Kč

Roční provoz: 15 000 — 56 000 Kč

Náklady po 10 letech: 340 700 — 1 230 000 Kč [6]

Plynový kotel

Zemní plyn je v současnosti velmi oblíbený zdroj energie pro vytápění a díky rozsáhlé plynofikaci je dostupný prakticky ve všech větších městech a obcích. Plynový kotel je jedním z nejrozšířenějších zdrojů tepla pro vytápění a přípravu teplé vody. Kotel je možné instalovat téměř do jakéhokoliv teplovodního topného systému jak při rekonstrukcích zdrojů tepla, tak i v novostavbách. Nové kotle na plyn v porovnání se starými se vyznačují vyšší účinností a to jak konvenční (až 94%), tak kondenzační (až 114%).

Klady

- Nižší pořizovací ceny
- Snadná obsluha
- Rychlá a jednoduchá instalace, konstrukční uspořádání umožňuje snadný servis
- Lze zapojit na stávající systém
- Ekologicky šetrný systém
- Plně automatický provoz
- Minimální nároky na údržbu
- Minimální nároky na prostor

Zápory

- Závislost na růstu cen energií
- Nutnost zajistit těsnost plynovodu a odvětrání pro bezpečnost provozu

Investice: 35 000 — 45 000 Kč

Roční provoz: 21 000 — 80 000 Kč

Náklady po 10 letech: 418 000 — 1 488 000 Kč [6]

Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo získává energii z okolí. Je možné jej použít jak pro topení a ohřev teplé vody, tak pro klimatizaci. Používají se jak v rodinných, tak i bytových domech. Účinnost tepelných čerpadel se posuzuje pomocí topného faktoru (např. 3,2 – 3,4) což značí poměr vyrobené a odebrané energie (při odběru 1kW elektřiny vyrobí 3,2 – 3,4kW v teple). Tepelné čerpadlo je nízkoteplotní tepelný zdroj a obvykle se používá ve spojení s podlahovým, nebo jiným velkoplošným topením. Dnes jsou na trhu i vysokoteplotní tepelná čerpadla, která lze použít v kombinaci s běžnými otopnými tělesy.



Klady

- Výhodná cena elektřiny pro celou domácnost
- Ekologicky šetrný systém
- Plně automatický provoz
- Minimální nároky na údržbu
- Nezávislost na růstu cen energií
- Rychlá a snadná instalace
- Lze zapojit na stávající systém
- Možnost použití i pro klimatizaci



Zápory

- Vyšší počáteční investice

Investice: 110 000 — 250 000 Kč

Roční provoz: 21 000 — 77 900 Kč

Náklady po 10 letech: 457 000 — 1 710 000 Kč [6]

Solární panely

Solární panely získávají energii ze slunce. Je možné je využít k ohřevu teplé užitkové vody (ve slunečných dnech pokryjí spotřebu teplé vody), pro podporu vytápění (předehřejí topnou vodu a sníží tak spotřebu energie primárního zdroje), ale

i jako ohřev vody pro bazény (v letních měsících je výkon solárních panelů dostatečně velký i na ohřev vody v bazénu). Používají se jak v rodinných, tak i bytových domech. Obecně platí, že tyto systémy je možné použít všude tam, kde je dostatek slunečního záření. Jedinou podmínkou je vhodné umístění solárních panelů. Ty by v našich podmínkách měly být umístěny jižním nebo západním směrem, neboť tak se zajistí dopad slunečních paprsků po co největší část dne.

Klady

- Palivo je zdarma
- Ekologicky šetrný systém bez hluku, spalin a emisí CO₂
- Plně automatický provoz
- Minimální nároky na údržbu
- Hospodárny provoz s velmi nízkou potřebou cizí energie
- Nezávislost na růstu cen energií
- Rychlá a snadná instalace

Zápory

- Vysoká počáteční investice vzhledem k úsporám

Investice: 69 000 — 180 000 Kč

Roční provoz: 1 000 — 5 000 Kč

Náklady po 10 letech: 15 000 — 75 000 Kč

[6]

Kotel

Kotel je obecně zařízení, které předává tepelnou energii teplotněmu médiu (nejčastěji voda a pára, pro rodinný dům téměř výhradně voda). Teplo se obvykle získává spalováním paliva exotermickými chemickými reakcemi, tj. reakcemi, při kterých se uvolňuje teplo. Některé kotle využívají odpadní teplo (spalinový kotel) nebo elektřinu (elektrokotel) a tím pádem proces spalování odpadá.

Spalování je fyzikálně chemický pochod organizované přípravy hořlavé směsi paliva (hořlavá látka s dostatečnou výhřevností) s okysličovadlem (nejčastěji vzdušný kyslík) a jejich slučování, tj. hoření, za intenzivního uvolňování tepla, což způsobuje prudké stoupnutí teploty směsi a vzniklých spalin. Hoření má charakter

řetězového děje, při němž část spalného tepla poslouží jako iniciátor zapálení nové směsi vstupující do reakce. Probíhá do vyčerpání zásoby hořlavé směsi, nebo do vyčerpání jedné její složky, případně do okamžiku, kdy intenzivním odvodem tepla teplota směsi klesne pod zápalnou teplotu. [7]

Hlavní části kotle

Spalovací zařízení běžných kotlů pro domácnost se skládá z ohniště s hořáky nebo s roštem a z pomocných zařízení. Mezi pomocná zařízení řadíme zařízení k přípravě a dopravě paliva, zařízení pro zachycování nespálených tuhých zbytků, spalinových popř. vzduchových ventilátorů, komína a jiné.

Ohniště

Srdcem každého kotle je ohniště. Ohništěm rozumíme prostor vymezený výhřevnými plochami a nechlazenými keramickými stěnami, ve kterém probíhá spalování paliva.

Na ohniště jsou kladeny vysoké nároky. Mezi nejdůležitější patří [7]:

- zajištění dokonalého průběžného spalování paliva s optimálním přebytkem spalovacího vzduchu a nejvyšší možnou účinností při minimální tvorbě škodlivých emisí
- vhodná konfigurace výhřevných ploch zajišťující vychlazení spalin pod teplotu měknutí popelovin a nepřekročení určité teploty v ohništi a na stěnách
- kontinuální odvod tuhých zbytků po spalování a plynných spalin do dalších částí kotle
- jednoduchá regulovatelnost a stabilita hoření a to jak při stacionárních, tak i při přechodových stavech, zejména pak v blízkosti minimálního výkonu
- možnost co nejširšího palivového programu, bez vzniku provozních potíží nebo přílišného poklesu účinnosti
- zamezení nadměrné tvorby nánosů, koroze, eroze, ucpávání průtočných, výpustních a recirkulačních průřezů
- obestavěná plocha a objem ohniště by měly být co nejmenší

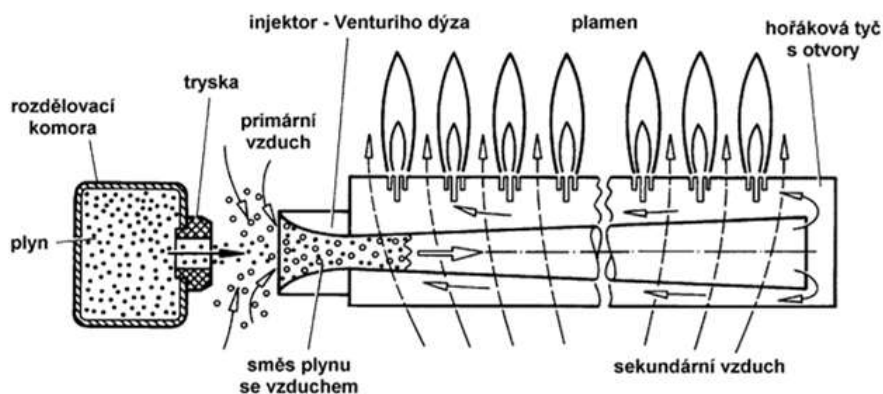
- ohniště musí být těsné, aby při případném přetlaku nevnikaly spaliny do prostoru kotelny a při podtlaku se zbytečně nepřisával falešný vzduch

Hořáky

Ohniště pro otop rodinného domu nejčastěji obsahuje buď hořáky, nebo rošt. Pokud se budeme ve stručnosti bavit o **ohništi s hořáky**, pak je nejčastěji využíváno hořáků plynových. Tyto hořáky se dělí podle různých kritérií:

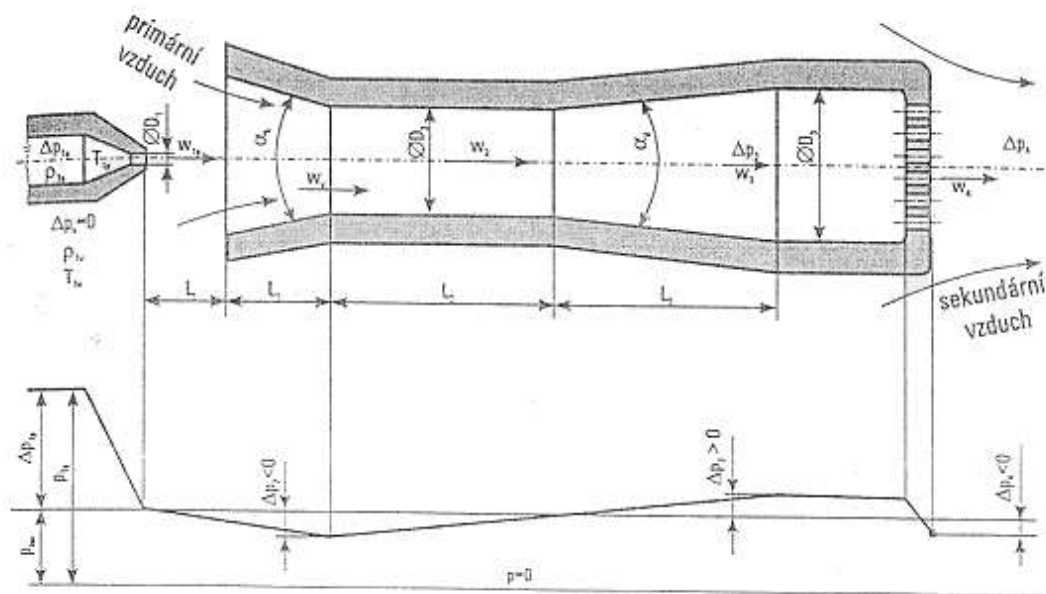
- Podle druhu spalovacího plynu – hořáky na zemní plyn, hořáky na zkapalněný plyn, univerzální
- Podle tlaku plynu – hořáky nízkotlaké (přetlak paliva do 5kPa), hořáky středotlaké (přetlak paliva od 5kPa do 300kPa), hořáky vysokotlaké (přetlak paliva nad 300kPa)
- Podle stupně automatizace provozu – hořáky ovládané ručně, hořáky poloautomatické, hořáky plně automatické
- Podle způsobu přívodu vzduchu – atmosférické, přetlakové

Atmosférické hořáky



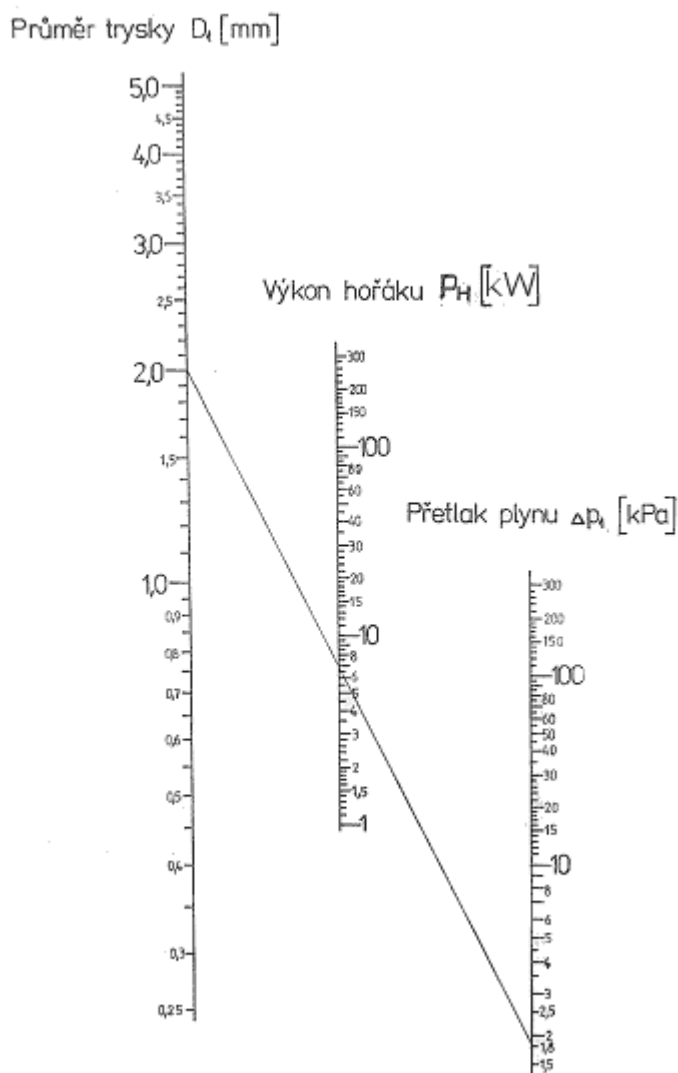
Obr.15: Atmosférický plynový hořák [8]

Tyto hořáky nasávají spalovací vzduch do směšovače ejekčním účinkem spalovaného plynu, vytékajícího z trysky, takže nepotřebují zdroj spalovacího vzduchu. Atmosférické hořáky nasávají do směšovače pouze část celkového potřebného množství spalovacího vzduchu. Zbylá část spalovacího vzduchu se přivádí do plamene hořáku tahem spotřebiče. Na následujícím obrázku je znázorněn průběh tlaku v ejekčním hořáku.



Obr.16: Průběh tlaku v atmosférickém hořáku [9]

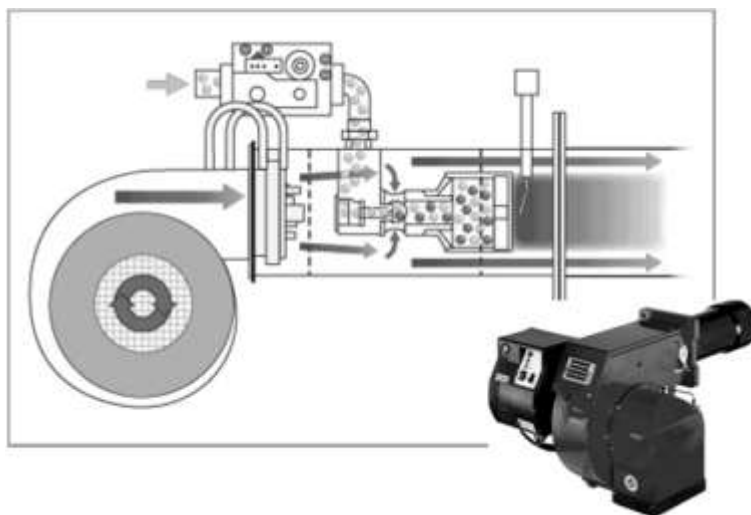
Dále je důležité si uvědomit, že pro konkrétní rychlostní součinitel plynové trysky φ (ten je dán geometrií) existuje závislost průměr trysky – výkon hořáku – přetlak plynu pro určitý plyn. Například pro tranzitní zemní plyn a rychlostní součinitel plynové trysky $\varphi=0,92$ vypadá nomogram následovně. Z něj je např. zřejmé, že výkon nízkotlakého atmosférického hořáku P_H s přetlakem zemního plynu $\Delta p_1 = 1,8$ kPa a průměrem plynové trysky $D_1 = 2$ mm bude 7kW.



Obr.17: Nomogram průměru trysky, výkonu hořáku a přetlaku plynu pro tranzitní zemní plyn a rychlostní součinitel plynové trysky $\varphi=0,92$ [9]

Přetlakové hořáky

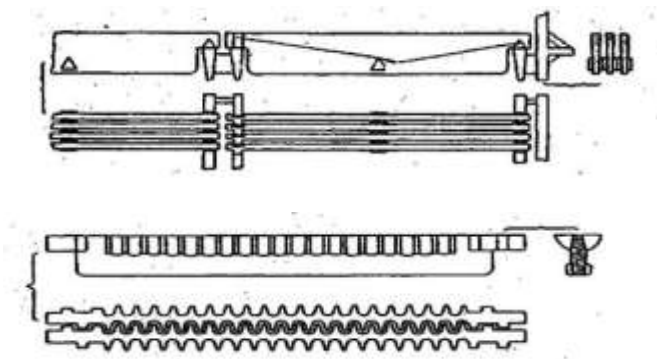
Přetlakové hořáky, nebo také hořáky s nuceným přívodem spalovacího vzduchu tvoří druhou velkou skupinu a používají se převážně pro technologické ohřevy. Pracují s nízkým přetlakem zemního plynu ($\Delta p_{1p} < 5$ kPa) a s přetlakem spalovacího vzduchu $\Delta p_{1v} = 1$ až 5 kPa. Zdrojem spalovacího vzduchu je obvykle radiální ventilátor. Spalovací vzduch je do hořáků přiváděn buď studený, nebo předehřátý v rekuperátoru či v regenerátoru. [9]



Obr.18: Přetlakový plynový hořák [8]

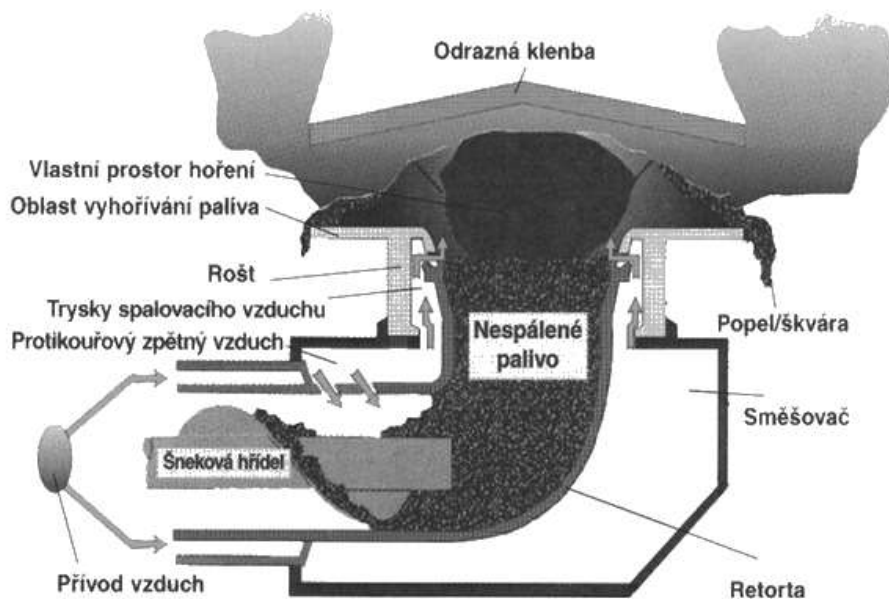
Rošt

Pokud se budeme opět stručně bavit o **ohništi roštovém**, pak je třeba konstatovat, že existují dva hlavní typy roštů – pevný a mechanický. Pevný rošt je nejčastěji rovinný, složený z ocelových, či litinových roštnic a nedokáže zajistit přívod paliva.



Obr.19: Roštnice tvořící rošt z rovinných desek (nahore) a z litinových zvlněných (dole) [8]

Další možností je mechanický rošt, nejčastěji se používá v podobě podsuvného roštu, který tlačí palivo do ohniště zespod a vytváří jakousi „krtinu“. Ta odhořívá shora a nespálené tuhé zbytky přepadávají do sběrných míst.

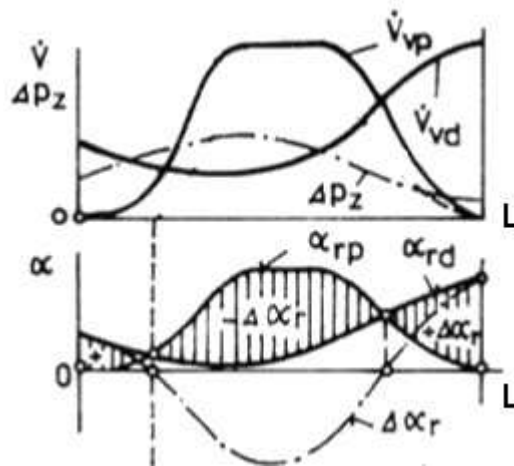


Obr.20: Podsvuvný rošt [8]

Mezi hlavní funkce roštu patří: [7]

- vytvářet a udržovat vrstvu paliva požadované tloušťky a prodyšnosti při co nejmenším propadu a úletu zrn paliva
- zajišťovat přívod spalovacího vzduchu do jednotlivých míst plochy roštu tak, aby spalování probíhalo s optimálním součinitelem přebytku vzduchu
- umožňovat postupné vysoušení, zahřátí na zápalnou teplotu a dokonalé vyhoření všech zrn paliva
- shromažďovat nebo zajišťovat odvod tuhých zbytků po spalování

Spalování na roštu probíhá jednak ve vrstvě na roštu, kde odhořívá tuhá hořlavina a jednak nad vrstvou paliva, kde hoří prchavá hořlavina ve formě uhlovodíků a ve vzdálenějších oblastech hoří oxid uhelnatý. Klíčová je ovšem distribuce vzduchu, která je obecně různá podle tlakové ztráty spalované vrstvy. Na následujícím obrázku je znázorněna potřeba vzduchu \dot{V}_{vp} , dodávka vzduchu \dot{V}_{vd} , tlaková ztráta vrstvy Δp_z a součinitel přebytku vzduchu α požadovaný, dodaný a reálný podél roštu.

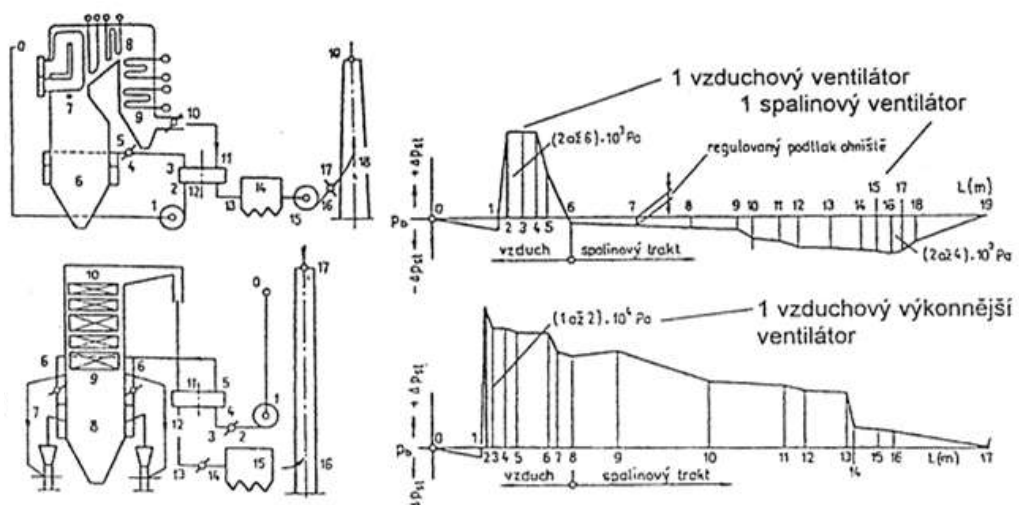


Obr.21: Průběh potřeby vzduchu, dodávky vzduchu, tlakové ztráty vrstvy a součinitele přebytku spalovacího vzduchu na roštu [7]

Proti tomuto jevu se někdy, spíše pro větší výkony, zavádí tzv. pásmování, kdy se spalovací vzduch přivádí v pásmech v různém množství tak, aby byla vyrovnána tlaková ztráta. Tímto se docílí ideálního součinitele přebytku vzduchu.

Pomocná zařízení

V této kapitole se budeme stručně zabývat zařízeními k dopravě vzduchu a spalin kotlem. Základním pravidlem je, že spaliny z kotle nesmí za žádných okolností pronikat do prostoru kotelny. Spaliny se tedy musí z ohniště dostat nejlépe účinkem podtlaku vyvozeného spalinovým ventilátorem, nebo u malých jednotek stačí tahový účinek komína. Pokud věříme, že prostor ohniště je dostatečně těsný, lze využít pro dopravu vzduchu do kotle a spalin z kotle vzduchový ventilátor. Na následujícím obrázku je znázorněn vzducho – spalinový trakt a průběhy tlaků.



Obr.22: Průběh tlaků ve vzducho – spalinovém traktu [7]

Žádný systém se však neobejde bez komína. Komín vyvozuje statický podtlak a tím odvádí spaliny a naopak nasává spalovací vzduch. Nutno podotknout, že toto stačí pouze pro malé výkony. Maximální statický podtlak komína by teoreticky nastal při zastavení proudění:

$$\Delta p_{stc} = g \cdot H \cdot \Delta \rho \text{ [Pa]}$$

Kde:

gtíhové zrychlení [m/s^2]

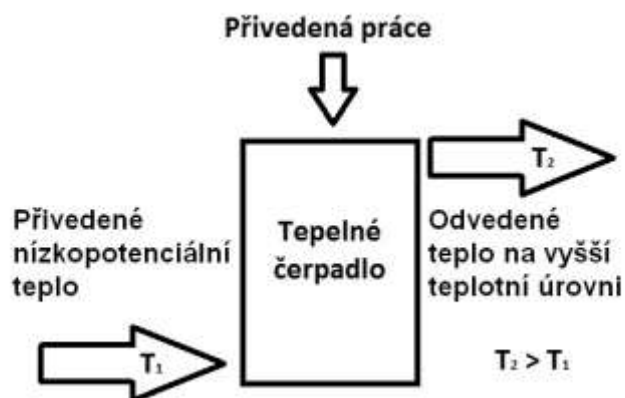
Hvýška komínu [m]

$\Delta \rho$rozdíl hustot spalin a okolního vzduchu [kg/m^3]

Další funkci, kterou komín plní, je rozptylování spalin a s nimi i plyných a tuhých škodlivin do většího prostoru. Dojde tedy k jejich zředění a snížení účinku v blízkosti kotelny.

Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo je zařízení, které přečerpává tzv. nízkopotenciální tepelnou energii z okolí (ze vzduchu, z vody, ze země) na vyšší teplotní úroveň, která je použitelná pro otop, nebo ohřev užitkové vody. Protože teplo nemůže podle druhého zákona termodynamiky samovolně přecházet proti teplotnímu spádu (tj. z nižší teplotní hladiny na vyšší), je nutné dodávat práci.



Obr.23: Princip tepelného čerpadla

Existuje mnoho zařízení, které k tomuto účelu využívají různé tepelné oběhy.

Tepelné oběhy mohou využívat var chladiva:

- oběh parní
- oběh sorbční (tj. absorbční, adsorbční, resorbční, difúzní)
- oběh proudový

Nebo teplené oběhy nevyužívají změny skupenství teplotnosné látky:

- oběh plynový s konáním vnější práce

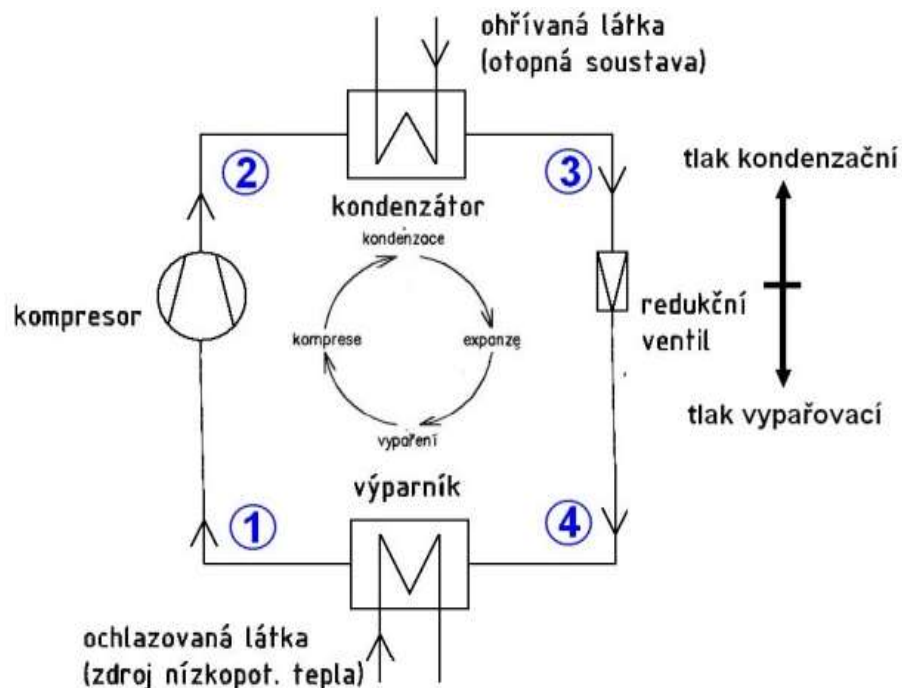
Existují ale také jiné fyzikální principy, které nevyužívají žádný oběh:

- termoelektrické chlazení
- vírová trubice (také d'áblova či Venturiho trubice)

Téměř výhradně používaný typ tepelných čerpadel pro otop, nebo ohřev užitkové vody v rodinném domě využívá parní oběh. Proto bude následujících odstavcích vysvětlována problematika právě na tomto typu tepelných čerpadel.

Princip funkce tepelného čerpadla

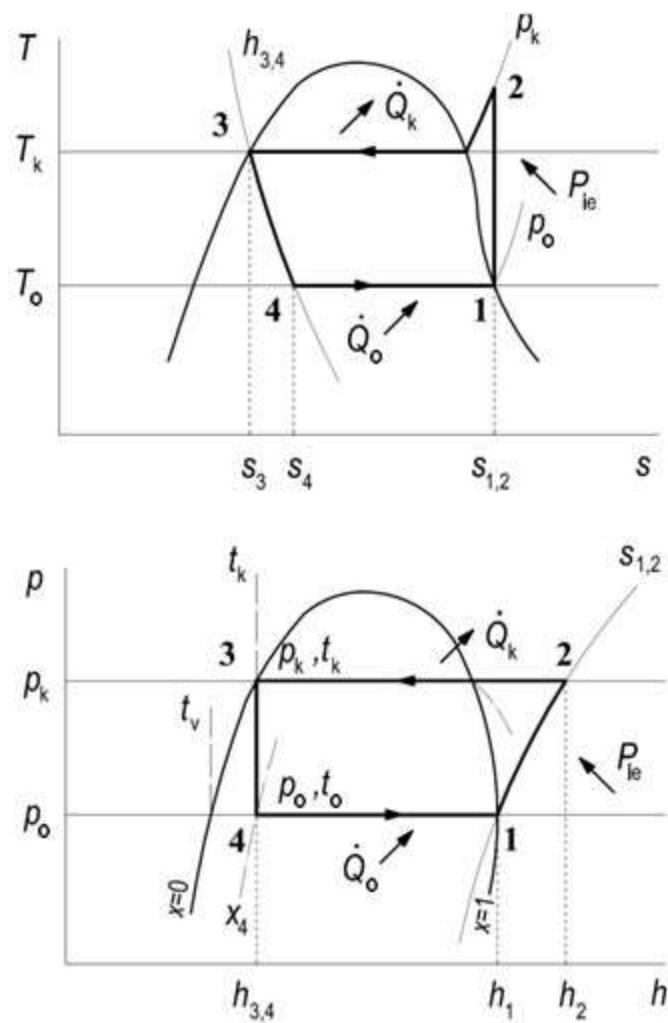
Tepelné čerpadlo využívající parního oběhu se skládá ve své nejjednodušší formě ze čtyř hlavních funkčních částí podle následujícího obrázku – z kompresoru, kondenzátoru, redukčního ventilu a výparníku.



Obr.24: Komponenty tepelného čerpadla

Chladivo je přivedeno v kapalně formě do výparníku, kde se vypařuje. Tím, že se vypařuje, odebírá teplo ochlazované látky. Páry jsou nasávány kompresorem, kde se stlačují na kondenzační tlak. Poté se v kondenzátoru ochladí a zkondenzují, čímž předávají teplo ohřívané látce. Kapalně chladivo odchází přes redukční ventil, kde dojde ke snížení jeho tlaku na tlak vypařovací.

Pro popis parního oběhu lze použít zidealizovaný Rankin – Clausiův oběh, znázorněný na následujícím obrázku v T-s a p-h souřadnicích. Nutno však dodat, že jsou zanedbány tlakové ztráty v oběhu a výměna tepla s okolím během komprese a expanze.



Obr.25: Oběh tepelného čerpadla

Zidealizovaný oběh má tyto části:

- 1-2 izoentropická komprese

Syté páry chladiva se během komprese mění na páry přehřáté, do oběhu je dodávána energie, znázorněná izoentropickým příkonem kompresoru P_{ie}

- 2-3 izobarické ochlazování a kondenzace

Toto ochlazení přehřátých par chladiva končí na mezi sytosti a pokračuje kondenzací na mez syté kapaliny. Při tomto pochodu odebíráme chladivu teplo Q_k a předáváme jej do otopné soustavy.

- 3-4 izoentalpické škrcení

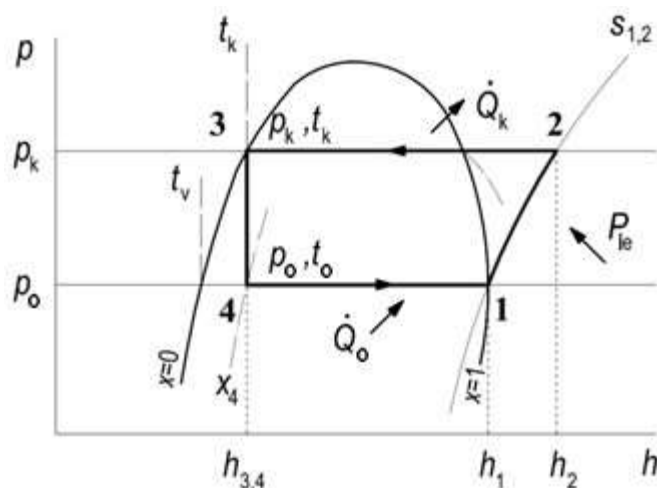
Škrcení představuje tlakovou redukci z tlaku kondenzačního p_k na tlak vypařovací p_v a končí v mokré páře. Nekona se práce, ani se nepřivádí teplo.

- 4-1 izobarické vypařování

Vypařování končí na mezi syté páry a je opakem kondenzace. Čili chladivo má nejnižší teplotu T_o a tím pádem odebírá teplo Q_o chlazené látky.

Základní souvislosti a veličiny

Znovu zobrazený, jednoduchý ideální oběh v $p - h$ diagramu je názornou ukázkou pochodů a poslouží i k vysvětlení základních veličin.



Obr.26: Oběh tepelného čerpadla v $p - h$ souřadnicích

Hmotnostní chladivost q_o

= množství tepla, které pojme 1kg chladiva při vypařování

$$q_o = h_1 - h_4 \text{ [kJ/kg]}$$

– z toho pak chladivost

$$\dot{Q}_o = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4) \text{ [kW]}$$

Měrná kompresní práce izentropická a_{ie}

= práce pro stlačení 1kg chladiva z p_o na p_k při zachování stejné entropie

$$a_{ie} = h_2 - h_1 \text{ [kJ/kg]}$$

– z toho pak izentropický příkon

$$P_{ie} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \text{ [kW]}$$

Hmotnostní topivost q_k

= množství tepla, které lze získat z 1kg chladiva při ochlazování přehřátých par chladiva a při jeho kondenzaci

$$q_k = h_2 - h_3 \text{ [kJ/kg]}$$

– z toho pak topivost

$$\dot{Q}_k = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3) \text{ [kW]}$$

Objem par na sání kompresoru

= množství par, které nasaje kompresor za jednotku času

$$\dot{V}_1 = \dot{m} \cdot v_1 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Kde:

v_1 měrný objem [m³/kg]

\dot{m} hmotnostní průtok chladiva [kg/s]

Topný faktor ξ_t

Topný faktor vyjadřuje účinnost tepelného čerpadla. Jedná se o poměr užitečného tepla a dodané energie. Pro izentropický topný faktor jednoduchého oběhu tedy platí:

$$\varepsilon_{t ie} = \frac{Q_k}{P_{ie}} [-]$$

Topný faktor tepelného čerpadla běžně dosahuje $\varepsilon_t = 3$ a znamená to, že za každou spotřebovanou kWh elektrické energie získáme 3 kWh energie tepelné. Důležité je si uvědomit, že topný faktor s klesající teplotou nízkopotenciálního zdroje také klesá (jednak roste měrný objem média, které nasává kompresor a s tím roste i jeho práce a P_{ie} , zároveň klesá hmotnostní průtok chladiva, čili klesá i Q_k). Proto je třeba se u výrobců tepelných čerpadel informovat, při jaké venkovní teplotě je topný faktor uváděn. To platí zejména pro tepelná čerpadla, kdy zdrojem nízkopotenciálního tepla je vzduch.

Čerpací poměr

Někdy se pro vyjádření efektivity čerpání tepla udává čerpací poměr.

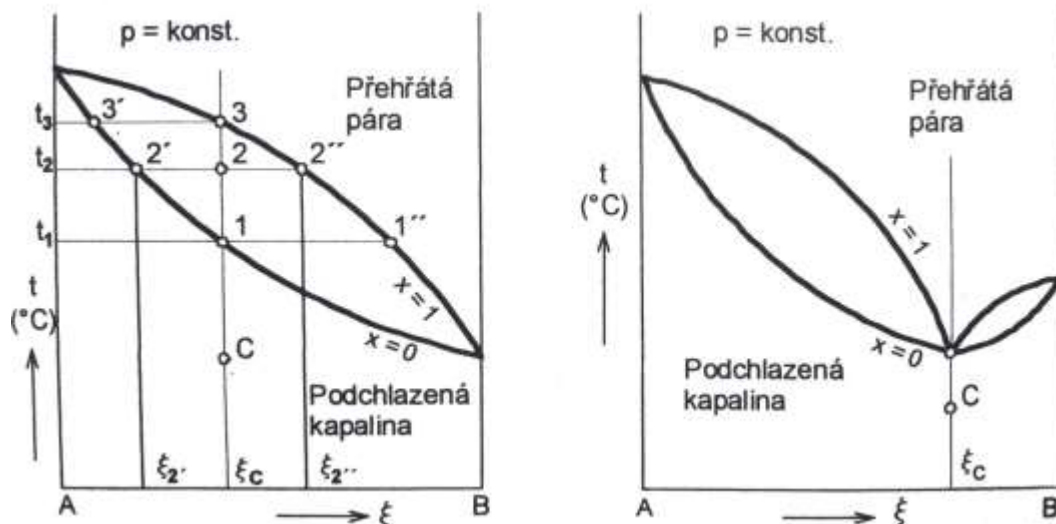
$$\varphi = \frac{h_2 - h_3}{h_1 - h_4} = \frac{q_k}{q_o} = \frac{\varepsilon_{tR}}{\varepsilon_{tR} - 1} [-]$$

Ve skutečném výměníku se neodvede všechno teplo obsažené v přehřátých parách chladiva, proto je v posledním zlomku skutečný topný faktor ε_{tR} .

Chladiva a jejich značení

Pokud bychom označili kompresor srdcem parního oběhu tepelného čerpadla, pak bude chladivo jeho krev. Je to pracovní látka, která v oběhu přijímá teplo chlazené látky při nízké teplotě a nízkém tlaku a toto teplo předává ohřivané látce při vyšší teplotě a tlaku.

Chladivem může být jednosložková látka, nebo směs – zeotropická, nebo azeotropická. U látky jednosložkové, nebo azeotropické směsi probíhá při určitém tlaku fázová změna. U směsi zeotropické probíhá fázová změna při proměnlivé teplotě, což bývá označováno jako tzv. teplotní skluz.



Obr.27: Fázový diagram teplota – koncentrace pro zeotropickou směs (vlevo) a azeotropickou směs (vpravo) [10]

V případě zeotropické směsi chladiv A a B v koncentraci ξ_C a teplotě t_C při určitém tlaku probíhá změna fáze následovně. Zvyšuje – li se teplota z t_C na t_1 , uvede se na počátek varu. Bod 1 tedy zobrazuje pro daný tlak a koncentraci počátek varu. Po dosažení teploty t_1 mají první částičky páry sice stejnou teplotu jako vroucí kapalina, ale jejich stav udává horní mezní křivka – tedy bod 1'' s koncentrací $\xi_{1''}$. Protože vzniklá pára má vyšší koncentraci než kapalina, koncentrace kapaliny poklesne a zvýší se teplota varu. Pokračuje – li přívod tepla, var probíhá za vyšší teploty. Např. při dosažení teploty t_2 má pára koncentraci $\xi_{2''}$ a kapalina $\xi_{2'}$. Var skončí při teplotě t_3 . Chladivo přešlo ze skupenství kapalného do plynného a při dalším přívodu tepla dochází k přehřátí. Rozdíl teplot $t_3 - t_1$ je teplotní skluz. [10]

V případě azeotropické směsi nenastává při určité koncentraci ξ_C teplotní skluz. Změna skupenství tedy probíhá při jedné teplotě, která je závislá na tlaku, stejně jako u jednosložkové látky.

Pro označení chladiv lze využít jejich obecný název (vzduch, voda, čpavek...), jejich chemický název (oxid uhličitý...), nebo technické značení. Technické značení začíná písmenem R (= refrigerant) a následují nejčastěji tři čísla.

R	.	.	.
---	---	---	---

- První číslo udává počet uhlíků v molekule zmenšený o jedna. Pokud by měla molekula pouze jeden uhlík a vyšla by tedy nula, pak se tato číslice neudává a název je dvoumístný.
- Druhá číslice udává počet vodíků zvětšený o jedna.
- Třetí číslice udává počet atomů fluoru.

Toto značení je často doplňováno dalším číslem, popřípadě písmeny a to v několika následujících případech a podobách [10]:

1. U chladiv obsahujících brom se značení provádí tak, že za písmenem R a třímístným číslem následuje B a číslice, udávající počet atomů bromu v molekule.

Např: R12B1 = CClF₂Br

2. Vlastnosti halogenovaného uhlovodíku záleží nejen na počtu atomů jednotlivých prvků v molekule, ale i na symetričnosti jejich uspořádání. V tom případě se za triádu čísel napíše malé písmeno, které značí stupeň asymetričnosti.

Např: R134 a R134a = C₂H₂F₄ v různé konformaci

3. Místo nasycených uhlovodíků (C_nH_{2n+2}) se používají uhlovodíky odvozené od nenasycené řady (C_nH_{2n}), které se vyznačují jednou dvojnou vazbou mezi atomy uhlíku. Tyto chladiva se značí čtyřmístným číslem za písmenem R, které vždy začíná číslicí jedna. Význam ostatních číslic zůstává stejný.

Např: R1112 = C₂Cl₂F₂

4. Jako chladiva je použito uhlovodíku s uzavřenou strukturou do kruhu. Potom je za písmeno R doplněno ještě písmeno C.

Např: RC318 = C₄F₈

5. „Přírodní“ látky, pro které se používá jejich obecný název, se za písmenem R třímístné označení, které vždy začíná číslicí sedm. Zbývající dvě čísla znamenají molární hmotnost dané látky.

Např: R718 = voda, R717 = čpavek, R744 = oxid uhličitý

6. Značení azeotropických směsí chladiv se vyznačuje pětkou za písmenem R a zbylá čísla znamenají pořadové číslo. Z tohoto značení nelze vyčíst složení směsi.

Např: R500 = R12 a R152a v poměru 73,8/26,2

7. Značení zeotropických směsí se vyznačuje čtyřkou za písmenem R a zbylá čísla znamenají opět pořadové číslo. Pro odlišení různého poměru jednotlivých složek směsi a tedy i různých vlastností se používá velké písmeno za třímístným číslem. Ze vzorce nelze určit složení směsi.

Např: R407A, R407B, R407C

Chladiva a přírodní prostředí

Chladivo je látka, která je při úniku potenciálně nebezpečná pro životní prostředí. Z ekologického hlediska se hodnotí vliv na ozonovou vrstvu pomocí parametru ODP (Ozon Depletion Potential) a vliv na globální oteplování Země parametrem GWP (Global Warming Potential).

ODP charakterizuje vliv dané chemické látky v atmosféře na ozonovou vrstvu Země, pokud potenciálně unikne. Udává kolik kg referenčního chladiva (=R11) je ekvivalentní 1kg použitého chladiva. Rozměr ODP je tedy kg R11/kg posuzovaného chladiva. Koeficient ODP se uplatní pouze v případě, unikne-li chladivo do atmosféry. Prvořadou důležitost mají tedy opatření proti netěsnostem a vypouštění chladiva do ovzduší.

GWP je potenciál celkového oteplení Země díky skleníkovému efektu potenciálně uniklých chladiv. Toto číslo udává poměrný oteplovací účinek daného chladiva na atmosféru Země v porovnání s účinkem čistého CO₂. Parametr není nejhodnějším parametrem pro posuzování vlivu celého chladicího systému na globální ohřev Země. Hlavním důvodem je, že větší část globálního ohřevu souvisí s uvolňováním CO₂ při výrobě elektrické energie potřebné pro provoz chladicího systému.

Bohužel samotné GWP je pouze ukazatel relativní a nedokáže posoudit zařízení jako celek. Důvodem je, že chladivo s příznivým GWP, ale horším topným faktorem může mít vlivem větší spotřeby energie horší dopad na skleníkový efekt než chladivo s horším GWP. Komplexní hodnocení paliva jako celku umožňuje koncepce **TEWI** (Total Equivalent Warming Impact), která zohledňuje přímý vliv chladiva v atmosféře a zároveň i nepřímý vliv daný spotřebou energie. [10]

$$TEWI = \text{přímý vliv} + \text{nepřímý vliv} [kg CO_2]$$

Kde:

přímý vliv [kg CO₂]

$$= GWP \text{ chladiva} \cdot \text{únik chladiva [kg/rok]} \cdot \text{životnost zařízení [roky]} \\ + GWP \text{ chladiva} \cdot \text{náplň chladiva [kg]} \cdot (1 - \text{faktor recyklace})$$

nepřímý vliv [kg CO₂]

$$= \text{životnost zařízení [roky]} \cdot \text{roční spotřeba energie [kWh/rok]} \\ \cdot \text{měrná emise CO}_2 \text{ [kg CO}_2\text{/kWh]}$$

Pro představu podílu obou vlivů je přiložena následující tabulka.

Tab.6: Podíl přímého a nepřímého vlivu provozu chladících zařízení s halogenovými uhlovodíky na globálním oteplování Země [10]

Druh zařízení	Přímý/nepřímý vliv na globální oteplování
Domácí chladničky	4/96
Klimatizace a tepelná čerpadla	10/90
Distribuční chladicí nábytek	56/44
Automobilová klimatizace	30/70

Podle výše uvedeného lze chladiva rozdělit do pěti skupin:

Chladiva narušující ozónovou vrstvu a způsobující globální oteplování

Jsou to plně halogenované uhlovodíky, obsahující v molekule jeden nebo více atomů chlóru. Pokud je v chladivu obsažen i brom, potom chladivo patří mezi tzv. halony, jejichž účinek na ozónovou vrstvu je značně destruktivní. Zařízení s takovými látkami se nesmí stavět. Stará zařízení, která používají tyto chladiva lze provozovat, ale bez toho, aby se chladivo doplňovalo. Chladiva patří mezi tzv. regulované látky, a pokud náplň obsahuje více jak 3 kg, musí se tato zařízení podrobovat pravidelným kontrolám úniku chladiva.

Chladiva mírně narušující ozónovou vrstvu a způsobující globální oteplování

Jedná se o částečně halogenované uhlovodíky, obsahující jeden nebo více atomů vodíku a chlóru. Nová zařízení se s těmito chladivy nesmí vyrábět, ale lze je omezeně doplňovat chladivy. Chladiva taktéž patří mezi tzv. regulované látky.

Chladiva způsobující globální oteplování s GWP > 150

Do této skupiny patří halogenované uhlovodíky bez přítomnosti chlóru. Nenarušují ozónovou vrstvu, ale při úniku do okolí se významně podílí na globálním oteplování.

Chladiva způsobující globální oteplování s GWP < 150

Tyto látky jsou z hlediska globálního oteplování nejšetrnější, ale většinou mají velkou nevýhodu v podobě vysoké hořlavosti.

Chladiva bez negativních vlivů na životní prostředí

Bez negativních vlivů na životní prostředí je pouze voda, čpavek a vzduch.

Chladiva z hlediska bezpečnosti

Bezpečnostní rizika zahrnuje od ledna roku 2013 norma ČSN EN 378-1+A2, která člení chladiva podle hořlavosti, jedovatosti a bezpečnosti jakožto kombinací obou zmíněných [10]:

Podle hořlavosti

- Skupina 1 = Chladiva, která nejsou v plynném stavu hořlavá při jakékoliv koncentraci se vzduchem.
- Skupina 2 = Chladiva, která jsou hořlavá se vzduchem od koncentrace $\geq 3,5\%$ objemově.
- Skupina 3 = Chladiva, která jsou hořlavá se vzduchem už při koncentraci $< 3,5\%$ objemově.

Podle jedovatosti

- Skupina A = Chladiva, která nemají žádné nepříznivé účinky na téměř všechny pracovníky, kteří mohou být každodenně vystaveni po dobu normálního 8 hodinového pracovního dne a 40 hodinového pracovního týdne časově vážené průměrné koncentraci $\geq 400\text{ppm}$ objemově (= 400 ml/m^3).
- Skupina B = Chladiva, která nemají žádné nepříznivé účinky na téměř všechny pracovníky, kteří mohou být každodenně vystaveni po dobu normálního 8 hodinového pracovního dne a 40 hodinového pracovního týdne časově vážené průměrné koncentraci $< 400\text{ppm}$ objemově.

Z hlediska bezpečnosti

- Skupina L1 = Chladiva splňující podmínky pro začlenění do skupiny A i skupiny1, tj. nehořlavá a nejedovatá chladiva.
- Skupina L2 = Chladiva s kombinací skupin A2, B1, B2, tj. chladiva nebezpečnější z hlediska hořlavosti a jedovatosti.
- Skupina L3 = Chladiva s kombinací skupin A3 a B3, tj. chladiva s vysokou hořlavostí a jedovatostí.

Přehled vybraných vlastností používaných chladiv jsou k nalezení v příloze 4. [10]

Zdroje tepla pro tepelné čerpadlo

Zdroje nízkopotenciálního tepla mají dvojitý původ. Buďto jsou to zdroje přírodní (venkovní vzduch, sluneční záření, povrchová či podpovrchová voda, půda a geotermální zdroj), nebo jsou to zdroje pocházející z odpadního tepla technologických procesů. Druhou skupinu většinou nelze pro potřeby vytápění rodinného domu využít, protože není k dispozici.

Obě skupiny zdrojů je nutné před volbou posoudit z několika hledisek:

- Teplotní hladina
- Množství
- Časová dostupnost
- Vzdálenost od tepelného čerpadla
- Chemické a fyzikální vlastnosti nositele tepla
- Pořizovací a provozní náklady
- Vliv na energetickou bilanci okolí a životní prostředí

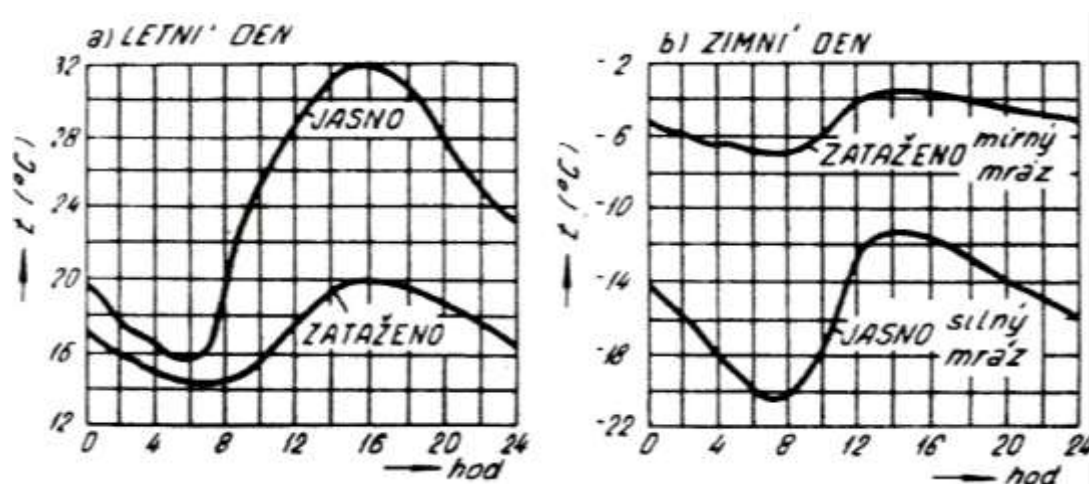
Venkovní vzduch

Venkovní vzduch je velice oblíbeným zdrojem tepla v klimaticky mírnějším pásmu s menším počtem mrazových dnů. Představuje neomezený zdroj, který nevyžaduje žádná povolení k jeho čerpání. Zároveň se jedná o zdroj ekologický, neboť při jeho čerpání dochází k minimálnímu narušení tepelné rovnováhy čerpané

látky (přes tepelné ztráty objektu se veškeré teplo navrátí zpět do vzduchu). Bohužel vzduch má nízkou hustotu, malou měrnou tepelnou kapacitu a vzhledem k nízkým hodnotám součinitele přestupu tepla mezi vzduchem a výparníkem je zapotřebí velkého množství vzduchu (tudíž nezanedbatelného příkonu ventilátoru) a velké plochy výparníku.

Dále je nepříjemné, že vzduch obsahuje vždy určité množství vodní páry, která při povrchové teplotě výparníku nižší než 0°C vymrzá tak na jeho povrchu. Tato námraza zhoršuje prostup tepla a je tedy nutné ji odtávat. Různí výrobci mají různé systémy pro automatické odtávání námrazy, ale v každém případě je nutné při hodnocení skutečného topného faktoru zahrnout nejen spotřebu kompresoru, ventilátoru, ale i energie na odtávání námrazy.

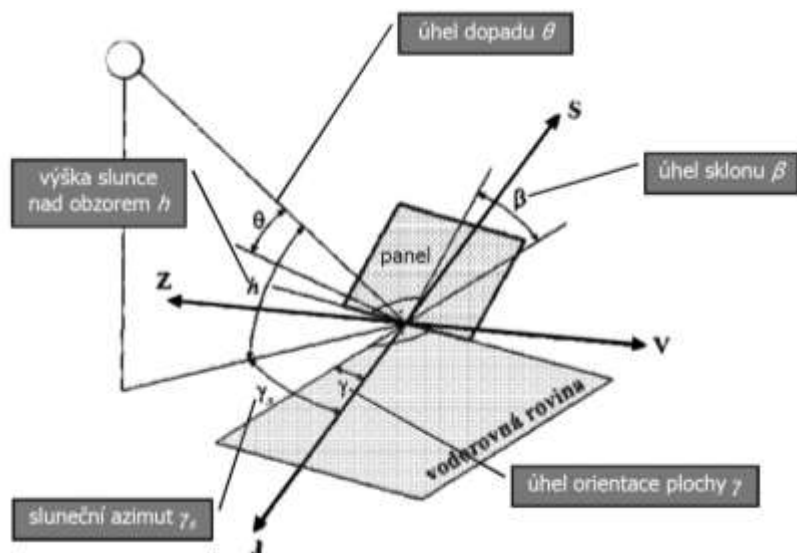
Teplota venkovního vzduchu je velice proměnná a to jak během jednotlivých měsíců, tak i během dne. Tato skutečnost znamená značnou závislost výkonu tepelného čerpadla na okolních podmínkách.



Obr.28: Typický průběh teploty vzduchu během letního a zimního dne [10]

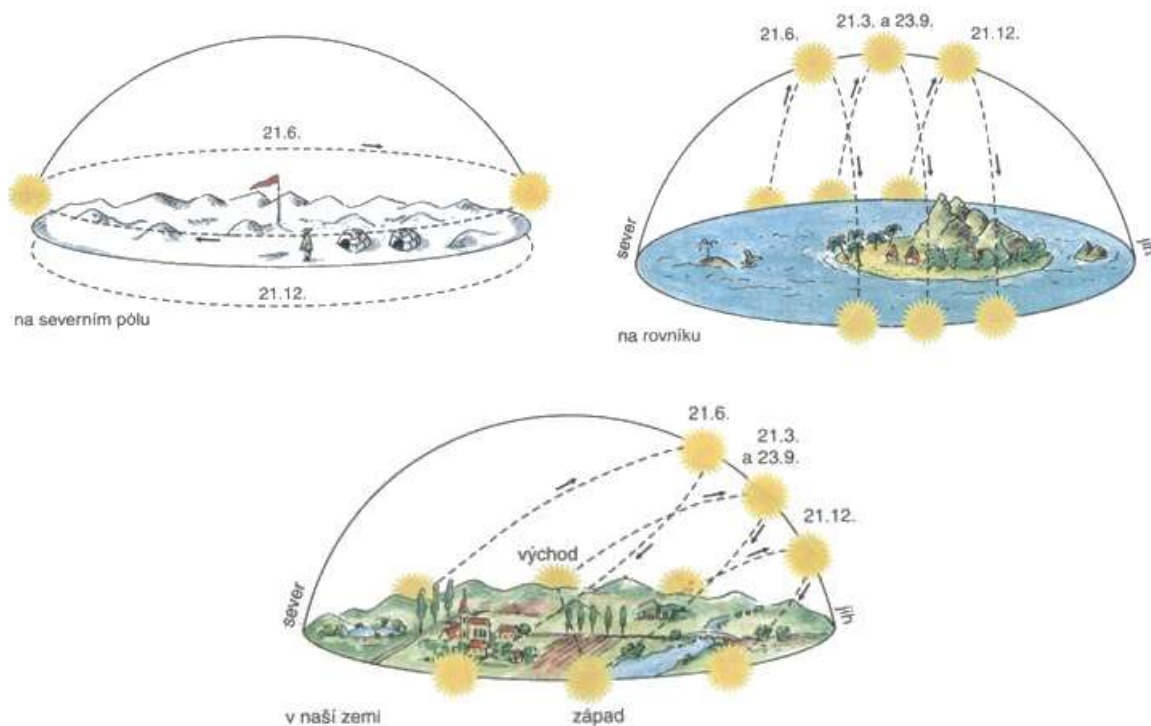
Sluneční záření

Sluneční záření se převádí solárním systémem na teplo a na rozdíl od ostatních zdrojů se může při dostatečně velkém solárním systému, v určitém období a lokalitě využívat bez použití tepelného čerpadla. Odhad využití slunečního záření je složitá záležitost. Závisí mimo jiné na úhlu sklonu solárního panelu od vodorovné roviny, úhlu dopadu, úhlu orientace plochy, slunečním azimutu a výšce Slunce nad obzorem.



Obr.29: Důležité úhly při odhadu využití slunečního záření [5]

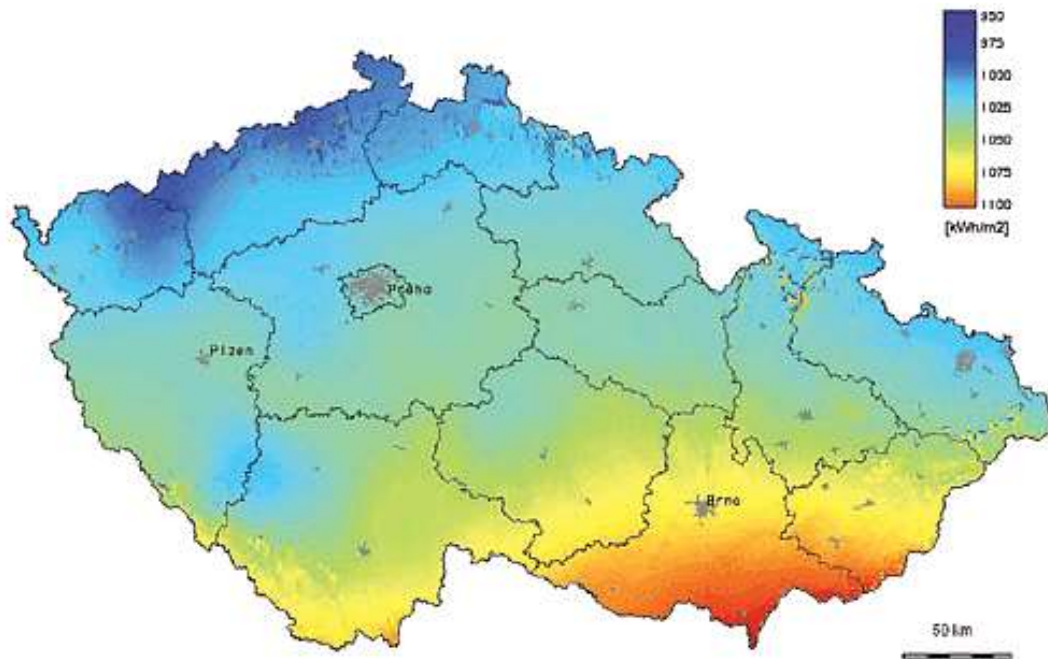
Je nutné si uvědomit, že mnoho z těchto úhlů se během roku mění s relativním pohybem Slunce kolem Země.



Obr.30: Relativní pohyb Slunce kolem Země v konkrétních oblastech [11]

Dále je pro získání tepla důležitá poměrná doba ozáření panelů, pohltivost a tepelná vodivost materiálů, které tvoří solární panel. Nejčastěji se používají ploché kolektory a vakuové kolektory, někdy pouze kolektory bez krycího zasklení tzv. absorbéry. Použitý typ je vždy otázkou ekonomiky, která vychází z ceny

komponent, životnosti, provozních nákladů a dosažitelných úspor. Pokud se solární systém propojí s tepelným čerpadlem, tak se většinou stane ekonomicky neprůchodným, kvůli dlouhé době návratnosti.



Obr.31: Sluneční mapa ČR [12]

Povrchová voda

Využití povrchové vody je doprovázeno s řadou potíží. Povrchová voda často zamrzá, je znečištěná a v zimních měsících většinou klesá i průtok. Voda může být využita přímo, nebo nepřímo. Pokud přivádíme povrchovou vodu potrubím přímo k tepelnému čerpadlu a ochlazenou přivádíme zpět, tak musíme počítat s problémy se znečištěním a mineralizací vody, která bude způsobovat zanášení výparníku i potrubí. Další nevýhoda přímého využití je fakt, že za odběr vody se platí poplatky správci toku. Nepřímý systém využívá výměníku tepla, který je zanořený v povrchové vodě a pomocí nemrznoucí směsi přivádí teplo do výparníku. Nevýhodou tohoto systému jsou horší parametry vlivem vícenásobného přestupu tepla z vody do nemrznoucí směsi a chladiva. Na druhou stranu nedochází k zanášení výparníku. V obou případech je potřeba minimálně povolení správce, nebo majitele toku na položení kolektoru.

Podpovrchová voda

Podpovrchová voda má svou největší výhodu v dobrých podmínkách pro přestup tepla (vysoká hustota, příznivá měrná tepelná kapacita) a v dostupnosti zdroje, jehož teplotní kolísání během roku je nepatrné (1 až 2K). Pro odhad teploty čerpané vody slouží následující vztah [10]:

$$t_w = t_\phi + 1 + 0,03 \cdot h \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Kde:

t_ϕ průměrná roční teplota vzduchu [°C]

h hloubka pramene pod povrchem [m]

Pro využití podpovrchové vody je potřeba minimálně dvou studní – čerpací, z níž je voda odebírána a vsakovací, do které je ochlazovaná voda navracena. Obě studny musejí být dostatečně vzdáleny, nesmí narušovat přirozený tok podzemních vod a musejí mít dostatečné parametry. To znamená, že čerpací studna musí mít dostatečnou vydatnost a naopak vsakovací zase dostatečnou hltnost. To se zjišťuje na základě hydrogeologického průzkumu a čerpací zkouškou. Navíc je potřeba povolení od vodoprávního úřadu, aby bylo možné provést vrt a čerpat vodu. Při větším odběru vody časem dojde k zanesení vodních cest, což nepříznivě ovlivní vydatnost pramene. V tom případě je nutné studny dočasně prohodit. Využívání podpovrchové vody jakožto zdroje nízkopotenciálního tepla může působit nepříznivě na ekologii. Může dojít k přílišnému vychlazení podzemních vod a při poruše těsnosti výparníku také k úniku chladiva, nebo olejů do podzemních vod.

Výkon odebíraný z vody (chladicí výkon) [kW]	Tepelný výkon TČ s topným faktorem 3,0 [kW]	Průtok vody při ochlazení o 4 K		Průtok vody při ochlazení o 6 K	
		[l/min]	[m ³ /hod]	[l/min]	[m ³ /hod]
3	4,5	11	0,6	7	0,4
5	7,5	18	1,1	12	0,7
8	12,0	29	1,7	19	1,1
10	15,0	36	2,2	24	1,4

Obr.32: Potřebná vydatnost zdroje spodní vody [13]

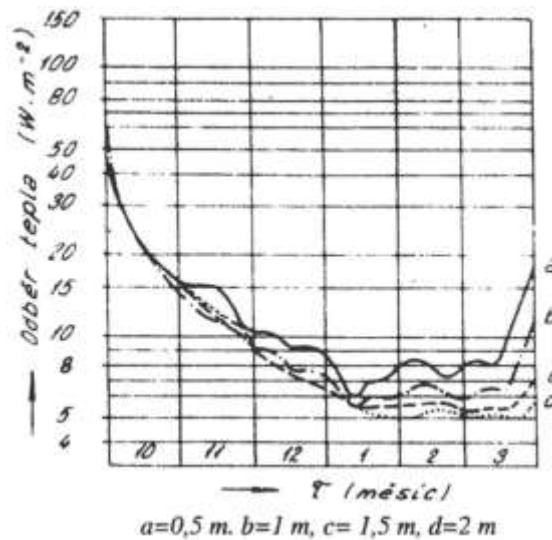
Půda

V našich klimatických podmínkách se nezámrazná hloubka pohybuje v mezích 0,8 až 1m pod povrchem. Tato skutečnost je příznivá pro využití půdy k vytvoření kolektoru pro ohřev chladiva. Kolektor tvoří nejčastěji polyetylenové, nebo nerezové trubky o průměru kolem 30mm, které se kladou minimálně 0,6m od sebe (lepší je 1m a více z důvodu zamezení tepelného ovlivňování svazků) a až 3m hluboko. Teplo, které můžeme získat z 1m² půdy se liší podle lokality. V ČR lze získat 6 až 40 W/m², průměrně 10W/m². Odhad měrného výkonu a plochy výměníku s výkonem 1kW je na následujícím obrázku.

Druh půdy	Měrný výkon získaný z půdy [W/m ²]	Plocha výměníků pro tepelné čerpadlo s topným faktorem		
		3,0 [m ² /kW]	3,5 [m ² /kW]	4,0 [m ² /kW]
Suchá nezpevněná půda	10	66	71	75
Ulehlá vlhká půda	20–30	33–22	36–24	38–25
Vodou nasycené štěrky a písky	40	17	18	19

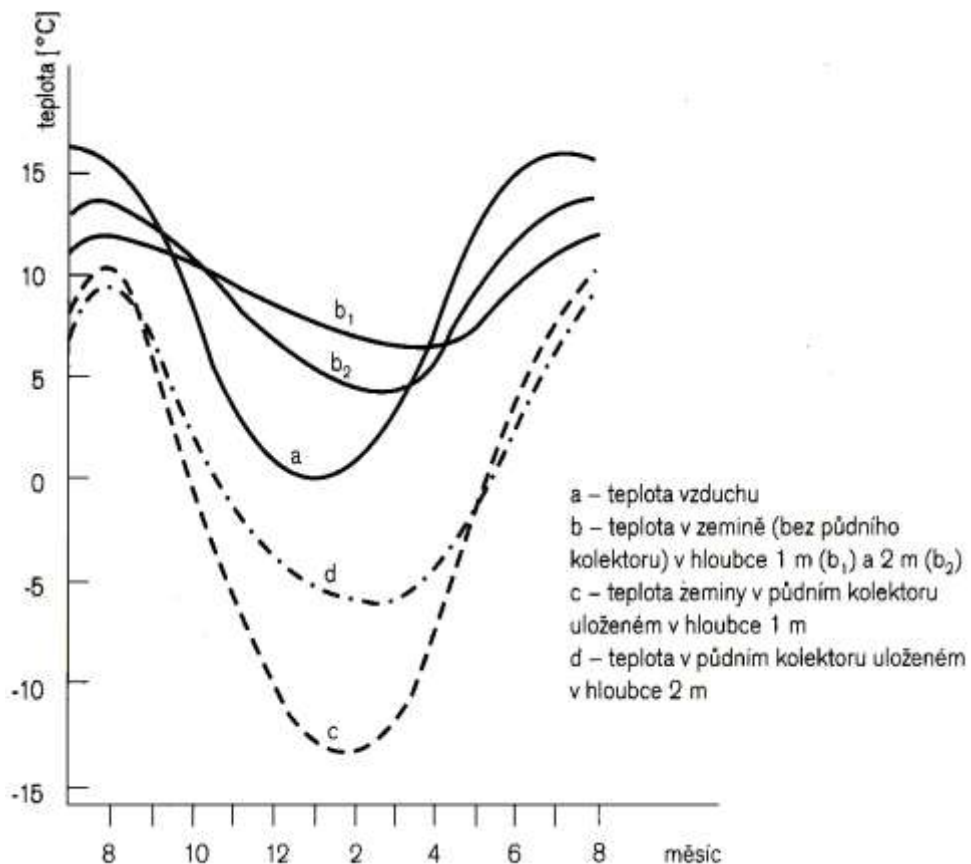
Obr.33: Parametry půdního kolektoru [13]

Situace je bohužel ještě o něco složitější, neboť závislost odběru tepla závisí nejen na lokalitě, potažmo na druhu půdy, ale také na hloubce uložení a roční době, kdy odběr realizujeme. Z uvedeného je zřejmé, že obzvláště v jarních měsících množství odebraného tepla s hloubkou uložení klesá a že plocha výměníku bude i pro částečné vytápění rodinného domu obrovská (takže i náklady na zbudování výměníku budou obrovské).



Obr.34: Závislost mezního odběru tepla z půdy na hloubce uložení a roční době [10]

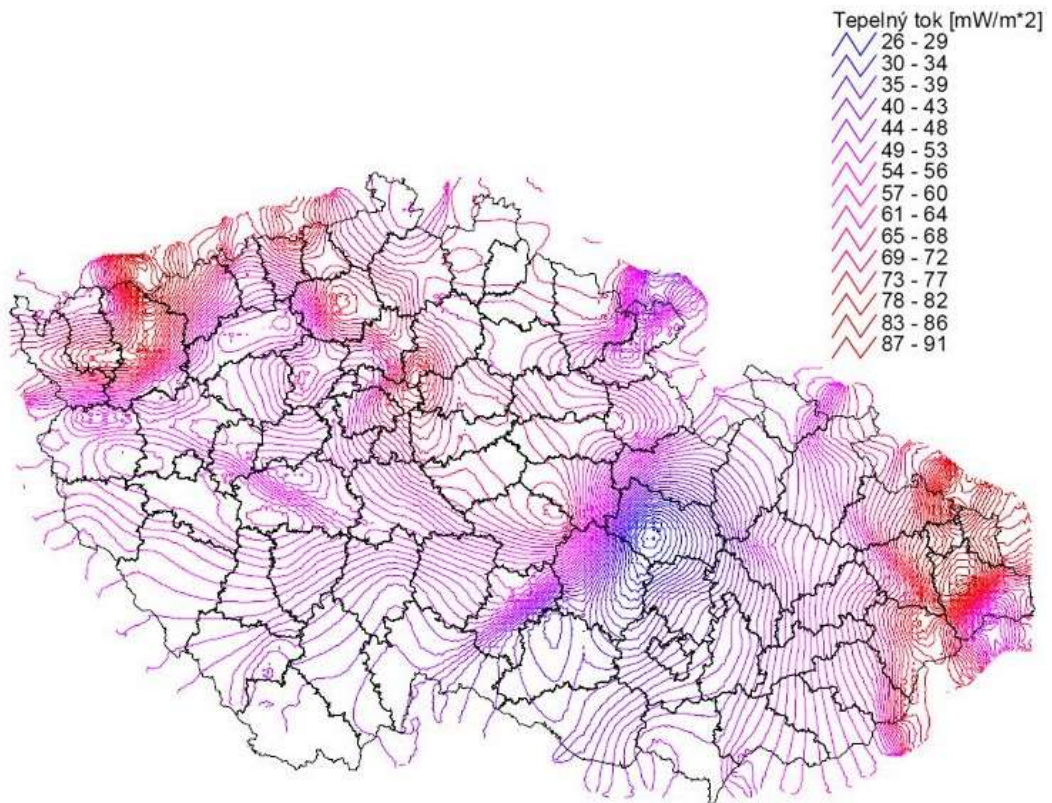
Další skutečností je, že se výkon tepelného čerpadla mění podle tepelné ztráty vytápěného objektu. To zároveň ale znamená různé tepelné zatížení zeminy a její vychlazení, což může někdy neblaze působit na základy stavby, pokud jsou blízko kolektoru, a na rostliny.



Obr.35: Porovnání teplot v zemině s odběrem a bez odběru [13]

Geotermální zdroj

Nitro Země se asi ze 2/3 ohřívá díky radioaktivnímu rozpadu prvků, zbytek pochází od jádra. Toto teplo poté prostupuje na povrch. Množství tepla, které projde jednotkovou plochou na povrchu, činí průměrně asi 50 mW/m^2 .



Obr.36: Tepelný tok při povrchu v ČR [13]

Hloubku vrtu ovlivňuje teplotní gradient (odpovídá přibližně 3K na každých 100m hloubky), ale velký význam má také tepelná vodivost hornin. Viz následující obrázek.

Hornina	Tepelná vodivost	Měrný výkon	Hloubka vrtu pro tepelné čerpadlo s topným faktorem	
			3,0	3,5
	[W/(m.K)]	[W/m]	[m/kW]	[m/kW]
Suché nezapevněné horniny	< 1,5	20	33	36
Pevně horniny nebo vodou nasycené	1,5 do 3,0	50	13	14
Pevně horniny s vysokou tepelnou vodivostí	> 3,0	70	9,5	10
Štěrký, písky, suché	0,4	< 20	> 33	> 33
Štěrký, písky, zvodnělé	1,8–2,4	55–65	10–12	11–13
Hlíny a jíly, vlhké	1,7	30–40	17–22	18–24
Vápenec, masivní	2,8	45–60	11–15	12–16
Pískovec	2,3	55–65	10–12	11–13
Žuly	3,4	55–70	9,5–12	10–13
Čediče	1,7	35–55	12–19	13–20
Ruly	2,9	60–70	9,5–11	10–16

Obr.37: Přibližné parametry pro dimenzování vrtu [13]

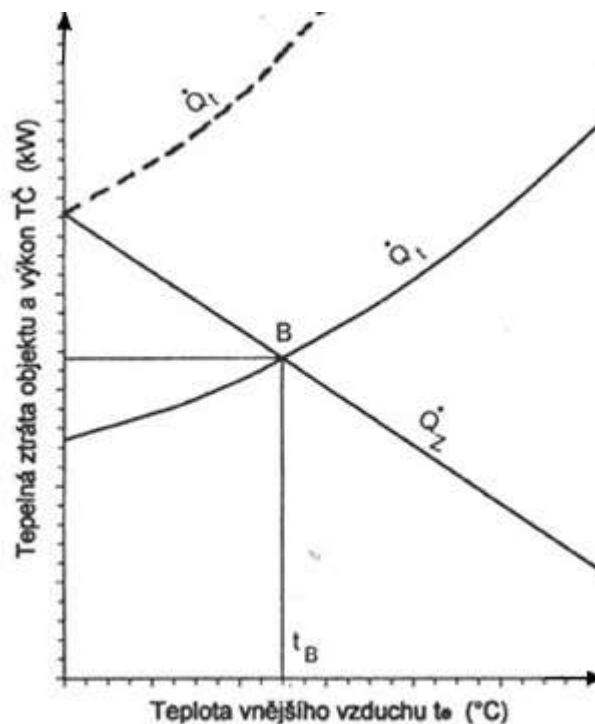
Vrty se běžně provádějí do hloubky 150m a mají průměr obvykle do 250 mm. Hned po vyvrtání se do vrtu zasune nejčastěji polyetylenová hadice kolektoru, kterou později proudí nemrznoucí směs. Vrt se poté zatěsňuje cementovou, nebo jílocementovou směsí. Zatěsnění slouží k tomu, aby nedošlo k znečištění případné zásobárny podzemní vody vodou povrchovou a narušení hydrogeologických poměrů. Z tohoto důvodu je také zapotřebí geologický průzkum a povolení pro provedení vrtu.

Nebezpečí hrozí, pokud vrt zamrzne. To se stane v případě, že je vrt poddimenzovaný, tzn. je příliš krátký na to, aby pokryl požadovaný odběr tepla. Tepelné čerpadlo v tom případě nelze využívat a trvá dlouho, než se vrt opět regeneruje.

Provoz zdrojů tepla

Tepelného čerpadla, jakožto zdroj tepla pro otop, lze využít jako jediný zdroj tepla během celé otopné sezóny. Takové řešení je však velice neekonomické, jelikož tepelné čerpadlo musí být voleno tak, aby svým výkonem krylo tepelné ztráty i při vnější výpočtové teplotě, která trvá jen pár dní. A protože výkon tepelného čerpadla je závislý na proměnlivé teplotě zdroje (zejména vzduch – voda), pak bude tepelné čerpadlo při teplotě vzduchu vyšší než vnější výpočtová teplota vždy předimenzovaný a tepelné čerpadlo zbytečně drahé (klesající venkovní teplota způsobuje větší tepelné ztráty a menší výkon tepelného čerpadla a naopak). Navíc je problém i regulace tepelného čerpadla, pokud pracuje v silně předimenzovaném režimu (akumulace tepla, cyklování...). Provoz jediného zdroje v otopné soustavě se nazývá **monovalentní** (na následujícím obrázku čárkovaně).

Výhodnější je většinou provoz **bivalentní** (na následujícím obrázku plnou čarou). V takovémto režimu je tepelné čerpadlo schopno vykrývat pouze část tepelných ztrát a pro zbytek se využije špičkového zdroje (kotel). Mělo by být pravidlem, že výkon tepelného čerpadla se navrhuje na krytí 50 – 75% tepelných ztrát, přičemž hlavním kritériem je ekonomika. Teplota, při které začne pracovat špičkový zdroj tepla, se nazývá **bivalentní teplota**.

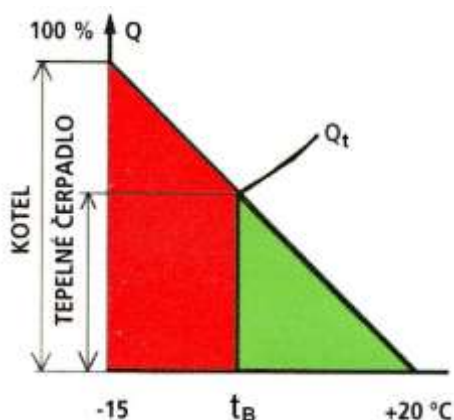


Obr.38: Monovalentní a bivalentní provoz tepelného čerpadla [10]

Tepelné čerpadlo může s doplňkovým zdrojem spolupracovat různě, a proto rozeznáváme tři možnosti bivalentního provozu.

Alternativně – bivalentní provoz

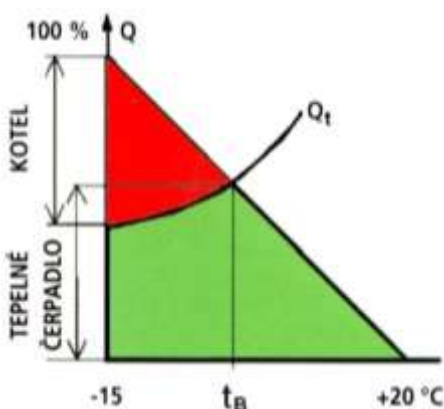
Tepelné čerpadlo pracuje až do bodu bivalence a při překročení tohoto bodu, tj. při větších mrazech, je odstaveno a zcela nahrazeno špičkovým zdrojem tepla. Tento způsob provozu je nejjednodušší na regulaci a šetrný k chladivu v tepelném čerpadle.



Obr.39: Alternativně – bivalentní provoz tepelného čerpadla [14]

Paralelně – bivalentní provoz

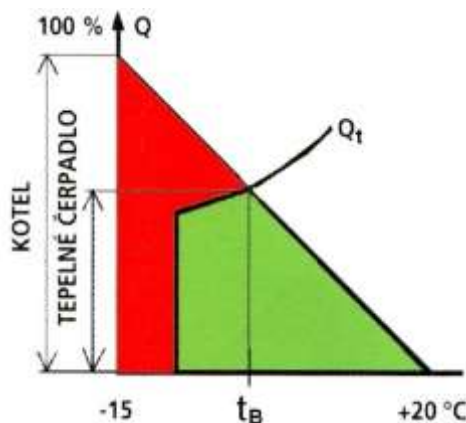
Tepelné čerpadlo pracuje celou topnou sezónu a to i v případě, kdy jeho výkon zdaleka nestačí. Zbytek výkonu dodává špičkový zdroj tepla a oba zdroje pracují současně. Tento způsob provozu není výhodný v oblasti hluboko pod bivalentním bodem, neboť vratná voda z otopných těles může být příliš vysoká a tepelné čerpadlo na tuto teplotu ani nemusí zvládnout ohřev (čili jeho výkon v soustavě je nulový). V krajním případě také může dojít k degradaci chladiva.



Obr.40: Paralelně – bivalentní provoz tepelného čerpadla [14]

Částečně paralelně – alternativní provoz

Tepelné čerpadlo pracuje částečně i pod bod bivalence a oba zdroje tak pracují společně. Pod bodem bivalence musí výkon tepelného čerpadla klesat od výkonu v bodu bivalence až do nulového (tj. v případě, že se teplota vratné voda z otopných těles vyrovná s teplotou vody, kterou dodává do sítě tepelné čerpadlo). U tohoto způsobu provozování je složitější regulace a volba bodu, kdy má tepelné čerpadlo přerušit provoz.



Obr.41: Částečně paralelně – bivalentní provoz tepelného čerpadla [14]

Výběr zdrojů tepla

Při výběru konkrétních zdrojů tepla budou do úvahy vzaty různé druhy krbových kamen, kotlů a tepelných čerpadel od různých výrobců. V případě tepelných čerpadel to budou výrobci PZP řady Arctic, Economic, Split a Regulus řada Eco Air (vše systém vzduch-voda), v případě kotlů to budou výrobci Atmos, Benekov, Viadrus, Buderus a Dakon, a v případě krbových kamen to budou menší výrobci. Parametry jednotlivých zdrojů jsou převzaty ze stránek výrobců. Při výběru bude pro tepelná čerpadla rozhodující potřebná teplota otopné vody a výkon, při výběru kamen a kotlů bude rozhodující jejich regulovatelnost, výkon a dostupnost paliv. A pro všechny zdroje bude důležitá samozřejmě ekonomika, tj.náklady na pořízení a provoz.

Souvislost s teplotou otopné vody

Parametry pro výběr tepelného čerpadla v rodinném domě určuje jednak zdrojová část, čili teplota otopné soustavy a část spotřeby, čili tepelné ztráty. Tyto dvě věci jsou spolu samozřejmě svázané, protože výkon otopného systému je dán

výkonem tepelného zdroje a tudíž i otopných těles. Otopná tělesa potom musí dodat přesně tolik tepla, kolik činí tepelné ztráty a ty jsou úměrné venkovní teplotě.

Při výpočtové tepelné ztrátě je navržený určitý systém. V našem případě je to soustava 70/55. Znamená to, že při vnější výpočtové teplotě $t_e = -15^\circ\text{C}$ by do otopných těles měla proudit voda o teplotě cca 70°C a ochlazená se vracet do zdroje tepla by se měla při teplotě cca 55°C . V zatepleném stavu pak odhaduji soustavu na 45/30. Toho se nechá využít při odhadu teploty topné vody, jelikož tepelné ztráty lineárně rostou a s nimi musí růst i výkon otopných těles. Změna výkonu otopných těles ale není lineární, neboť teplo se sdílí jak konvekcí, tak radiací. S nižší teplotou klesá podíl vysálaného tepla a zároveň klesá i proudění kolem otopných těles a výkon se tedy nepředává lineárně. Odchýlení od linearity udává tzv. teplotní exponent n , který se zjišťuje experimentálně.

Platí:

$$\dot{Q}_{ot} = \dot{Q}_{ot,V} \cdot \left(\frac{\Delta t_{ot}}{\Delta t_{ot,V}} \right)^n [W]$$

Kde:

\dot{Q}_{ot}výkon otopného tělesa při rozdílu teplot vody a vzduchu v místnosti
 Δt_{ot} [W]

$\dot{Q}_{ot,V}$výkon otopného tělesa při návrhovém rozdílu teplot vody a vzduchu
v místnosti $\Delta t_{ot,V}$ [W]

Δt_{ot}rozdíl teplot vody a vzduchu v místnosti [$^\circ\text{C}$]

$\Delta t_{ot,V}$návrhový rozdíl teplot vody a vzduchu v místnosti [$^\circ\text{C}$]

nteplotní exponent [-]

Hodnoty exponentu n [10,15]:

- Ocelové radiátory $n=1,25 - 1,36$
- Litinové radiátory $n=1,28 - 1,37$
- Desková otopná tělesa $n=1,14 - 1,45$
- Trubková otopná tělesa $n=1,24 - 1,37$
- Konvektory $n=1,28 - 1,5$
- Podlahová otopná plocha $n=1,1$

Zároveň musí platit:

$$\dot{Q}_z = \dot{Q}_{z,V} \cdot \frac{t_i - t_e}{t_i - t_{e,V}} [W]$$

Kde:

\dot{Q}_ztepelná ztráta objektu při teplotě vnějšího vzduchu t_e [W]

$\dot{Q}_{z,V}$tepelná ztráta objektu při vnější výpočtové teplotě $t_{e,V}$ [W]

t_i vnitřní návrhová teplota [°C]

t_e teplota externího vzduchu [°C]

$t_{e,V}$vnější návrhová teplota podle lokality [°C]

Z logiky krytí tepelných ztrát musí platit:

$$\dot{Q}_{ot} = \dot{Q}_z$$

$$\frac{\dot{Q}_{ot}}{\dot{Q}_{ot,V}} = \frac{\dot{Q}_z}{\dot{Q}_{z,V}}$$

$$\left(\frac{\Delta t_{ot}}{\Delta t_{ot,V}} \right)^n = \frac{t_i - t_e}{t_i - t_{e,V}}$$

Zároveň platí:

$$\frac{\dot{Q}_{ot}}{\dot{Q}_{ot,V}} = \frac{\dot{m}_w \cdot c_{pw} \cdot \Delta t_w}{\dot{m}_w \cdot c_{pw} \cdot \Delta t_{w,N}} = \frac{t_{PŘ} - t_{OD}}{t_{PŘ,N} - t_{OD,N}} [-]$$

Kde:

\dot{m}_whmotnostní průtok vody dodávaný oběhovým čerpadlem do okruhu
(předpokládáme jej přibližně konstantní, proto lze vykrátit) [kg/s]

c_{pw}měrná tepelná kapacita vody (také předpokládáme přibližně konstantní) [J/(Kg.K)]

$t_{PŘ}$teplota přivedené vody [°C]

t_{OD}teplota vratné vody [°C]

$t_{PŘ,N}$teplota přivedené vody při venkovní návrhové teplotě [°C]

$t_{OD,N}$teplota odvedené vody při venkovní návrhové teplotě [°C]

Dosazením do počáteční rovnice:

$$\Delta t_{OT} = \frac{t_{PŘ} - t_{OD}}{\ln \frac{t_{PŘ} - t_i}{t_{OD} - t_i}} [K]$$

A zavedením:

$$K_N = \ln \frac{t_{PŘ,N} - t_i}{t_{OD,N} - t_i} [-]$$

Získáme:

$$\frac{\dot{Q}_{ot}}{\dot{Q}_{ot,V}} = \frac{\Delta t_w}{\Delta t_{w,N}} = \left(\frac{\Delta t_w}{\Delta t_{w,N}} \right)^n \cdot \left(\frac{K_N}{\ln \frac{t_{PŘ} - t_i}{t_{OD} - t_i}} \right)^n [-]$$

A úpravou konečně získáme vztah pro $t_{PŘ}$:

$$t_{PŘ} = t_i + \frac{\Delta t_{w,N} \cdot \frac{\Delta t_w}{\Delta t_{w,N}} \cdot e^{\left(K_N \cdot \left(\frac{\Delta t_w}{\Delta t_{w,N}} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right)}}{e^{\left(K_N \cdot \left(\frac{\Delta t_w}{\Delta t_{w,N}} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right)} - 1} [^{\circ}C]$$

Kam dosadíme:

$$\frac{\Delta t_w}{\Delta t_{w,N}} = \frac{t_i - t_e}{h \cdot (t_i - t_{e,V})} [-]$$

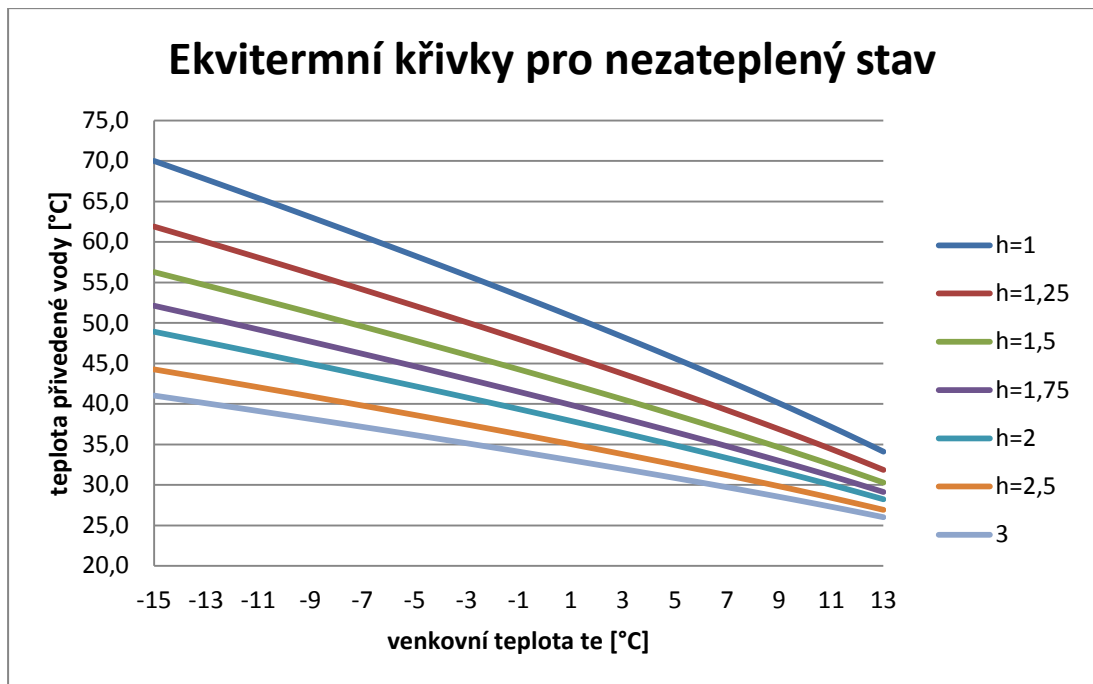
Kde:

hzvětšení plochy otopných těles oproti původnímu provedení

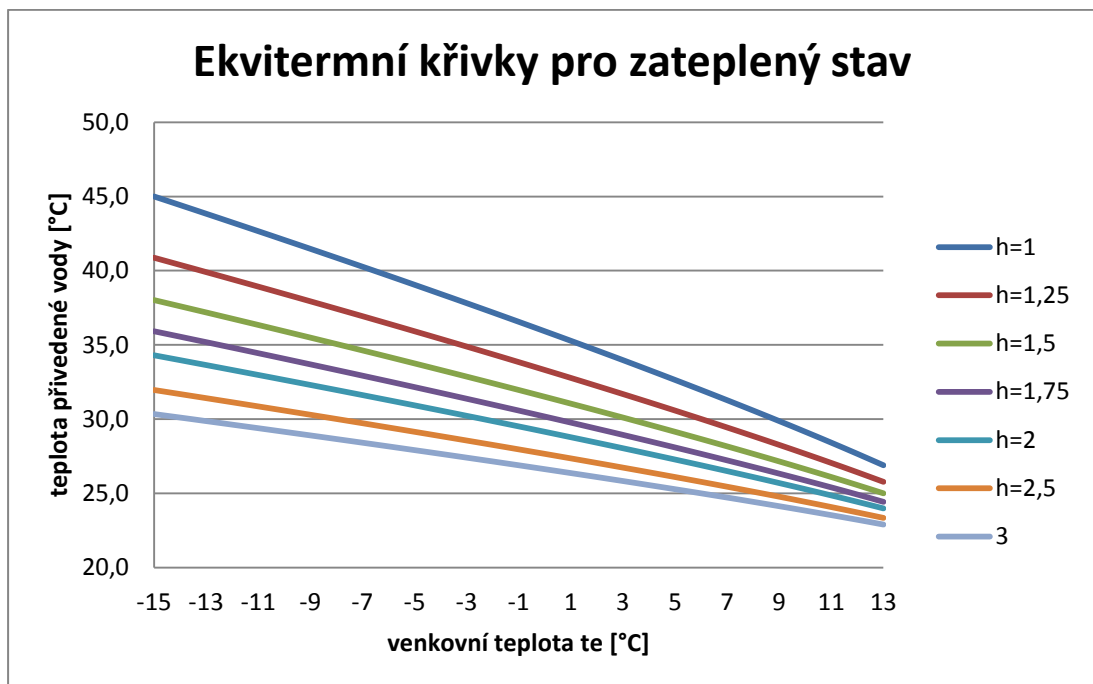
Jednoduchou logikou pak získáme i vztah pro t_{OD} :

$$t_{OD} = t_{PŘ} - \left(\Delta t_{w,N} \cdot \frac{\dot{Q}_{ot}}{\dot{Q}_{ot,N}} \right) [^{\circ}C]$$

Výpočet $t_{PŘ}$ a t_{OD} byl proveden v programu MS excel pro nezateplený i zateplený stav (zobrazeny jsou pouze $t_{PŘ}$ v závislosti na zvětšení otopné plochy). Tím byly získány tzv. ekvitermní křivky různě zvětšených ploch, které charakterizují teplotu vody v otopné soustavě takovou, která zajistí potřebný výkon otopných těles v závislosti na venkovní teplotě. Tato regulace výkonu se také bude aplikovat v otopných systémech.



Obr.42: Ekvitermní křivky t_{pR} pro nezateplený stav

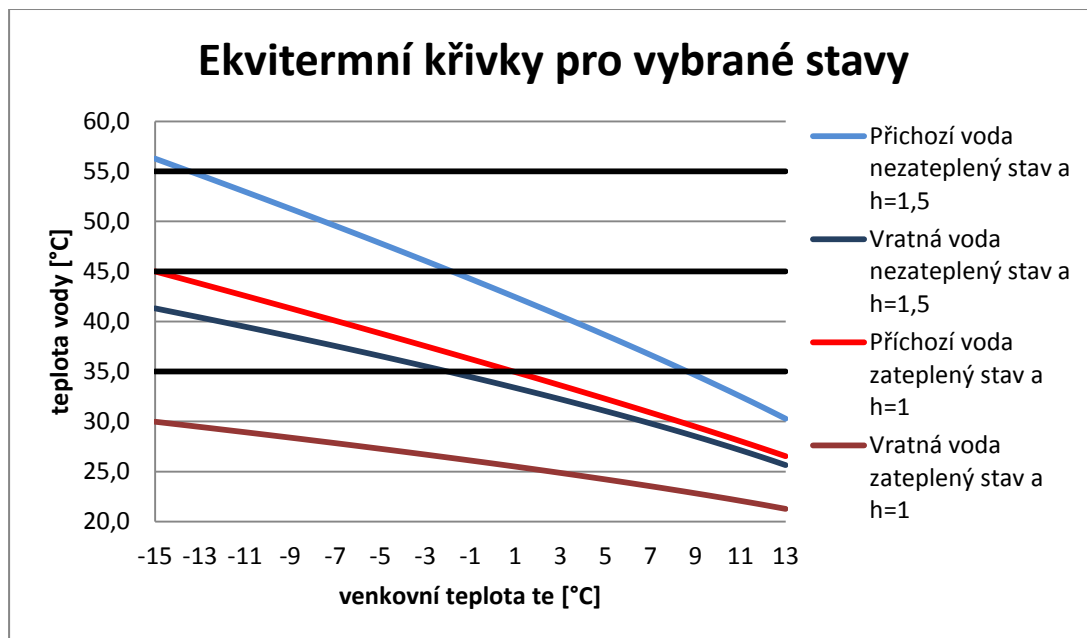


Obr.43: Ekvitermní křivky t_{pR} pro zateplený stav

Z obrázků je zřejmé, že pro zateplený stav nebude potřeba zvětšovat otopný systém, zatímco v nezatepleném stavu volím zvětšení otopné plochy pomocí deskových otopných těles, která budou v případě velkých místností umístěna pod celou plochou oken. Tělesa by nebylo potřeba zvětšovat, ale původní otopná tělesa stejně dosluhují a rozdíl ceny mezi otopnými tělesy s $h=1$ a $h=1,5$ nebude tak

markantní. Tím se zvětší otopná plocha průměrně cca 1,5 krát a tepelné čerpadlo bude moci pracovat při menším teplotním spádu a tudíž s lepším topným faktorem.

Limitující podmínky z hlediska potřeby otopné soustavy jsou tedy následující:



Obr.44: Ekvitermní křivky t_{PR} a t_{OD}

Tepelná čerpadla, která mohou dosahovat při podmínkách zdroje tepla například teploty 45°C budou moci pracovat vzhledem k potřebné teplotě otopné vody v případě nezatepleného stavu do cca -2°C při bivalentním alternativním provozu a do -15°C v bivalentním paralelním provozu. V případě zatepleného stavu mohou pracovat po celou dobu v provozu monovalentním.

To, jestli jsou tepelná čerpadla schopná při podmínkách zdroje, tedy vzduchu, zajistit při potřebném výkonu potřebnou teplotu topné vody, lze vyčíst z údajů od výrobce.

Souvislost s potřebným výkonem

Výkon tepelných čerpadel je dán (mimo konstrukce tepelného čerpadla a oběhu, který se realizuje určitým chladivem) také teplotou média ze kterého čerpá teplo a teplotou média, které předává teplo. Prakticky se každé tepelné čerpadlo testuje na zkušebně při určité teplotě jednoho i druhého média a zaznamenává se příkon a tepelný výkon. Poslední dva parametry tak dávají topný faktor. V případě voleného typu tepelných čerpadel vzduch – voda by mělo měření dle normy ČSN

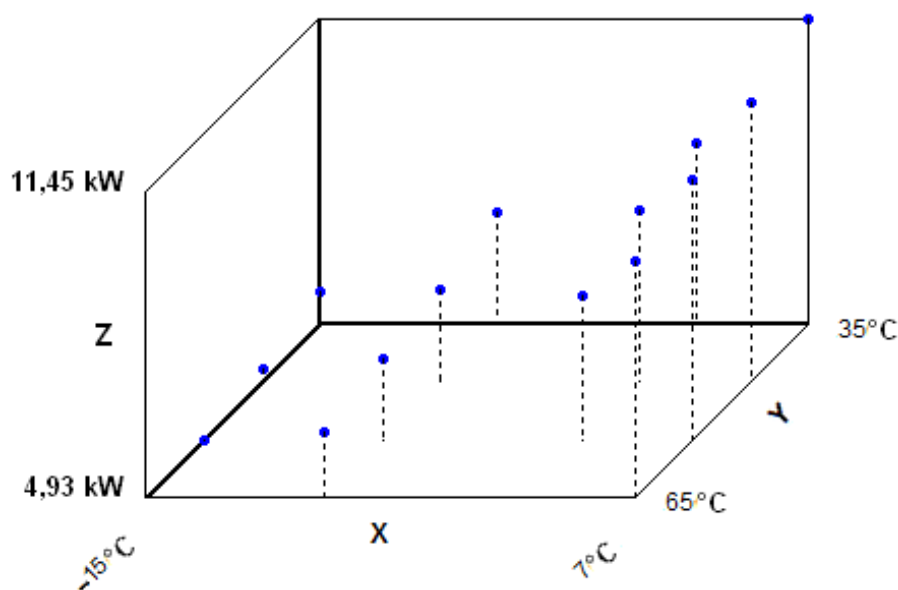
EN 14 511 zahrnovat i odtávací cyklus. Odtávání probíhá na výparníku, na kterém se sráží a namrzá vzdušná vlhkost. Ze začátku může tenká zamrznutá vrstvička v periferiích výparníku pomoci tím, že zvýší rychlost proudění a tudíž i přestup tepla, ale při větší tloušťce tato námraza proudění (a tedy i přestupu tepla) brání.

Výsledek měření může vypadat například následovně:

Výkonové parametry				
Teplota vzduchu	Výstupní teplota	Výkon [kW]	Příkon [kW]	Topný faktor
7 °C	35 °C	11,45	2,36	4,86
	45 °C	10,89	2,86	3,81
	55 °C	10,48	3,30	3,18
	65 °C	9,96	3,84	2,59
2 °C	35 °C	8,80	2,30	3,83
	45 °C	8,58	2,79	3,07
	55 °C	8,01	3,06	2,62
-7 °C	35 °C	7,32	2,29	3,19
	45 °C	6,90	2,64	2,61
	55 °C	6,63	3,04	2,18
	65 °C	6,31	3,55	1,78
-15 °C	35 °C	5,63	2,13	2,65
	45 °C	5,22	2,51	2,08
	55 °C	4,93	2,09	1,76

Obr.45: Naměřené výkonové parametry pro Regulus EcoAir 410 [24]

Tyto hodnoty se nechají vynést do trojrozměrného grafu, kde osa x znázorňuje teplotu vzduchu, osa y znázorňuje teplotu vody a osa z znázorňuje tepelný výkon.



Obr.46: Vynesené hodnoty Regulus EcoAir 410

Pro potřeby vytápění ale bude nutné znát tepelný výkon v závislosti na venkovní teplotě a potřebné teplotě otopné vody při této venkovní teplotě (která je známa z konstrukce ekvitermních křivek). Čili jsou zapotřebí i hodnoty výkonu mezi naměřenými body a proto je potřeba tyto body interpolovat rovinou, popsanou například rovnicí:

$$Z = A + B \cdot X + C \cdot Y + D \cdot X^2 + E \cdot X \cdot Y + F \cdot Y^2 + G \cdot X^3 + H \cdot X^2 \cdot Y + I \cdot X \cdot Y^2 + J \cdot Y^3$$

Interpolaci lze provést pomocí MS excel, Matlabu, nebo pomocí freewarového programu LAB Fit. Poslední program se zdá být uživatelsky nejjednodušší a vzhledem k tomu, že nepotřebuje žádnou licenci, tak i nejdostupnější. V tomto programu se vytvoří nový soubor, zvolí se 2 proměnné a vloží se ve sloupcích zapsané hodnoty teplot vzduchu, vody a výkonu (ty lze jednoduše zkopírovat z excelu). Po uložení souboru se vykreslí jednotlivé body do grafu, který lze interpolovat uživatelskou funkcí odpovídající výše uvedené. V jazyku tohoto programu vypadá funkce o 10 proměnných následovně:

$$Y=A+B*X1+C*X2+D*X1**2+E*X1*X2+F*X2**2+G*X1**3+H*X1**2*X2+I*X1*X2**2+J*X2**3$$

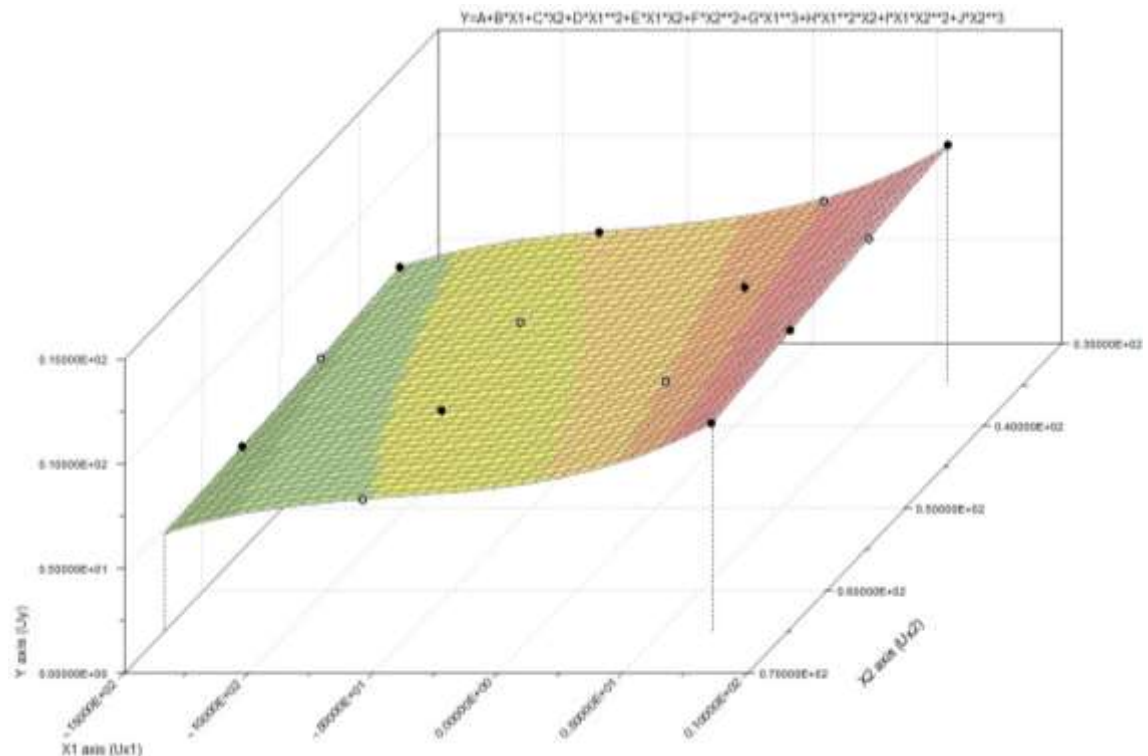
Po proložení program vypíše hodnoty 10 proměnných A – J a získáme potřebnou funkci plochy.

$$Y=A+B*X1+C*X2+D*X1**2+E*X1*X2+F*X2**2+G*X1**3+H*X1**2*X2+I*X1*X2**2+J*X2**3$$

PARAMETERS: Mean	UNCERTAINTIES: SD	t	P(t)
A = 0.96615217571E+01	SIGMAA = 0.37768996015E+01	0.255806E+01	0.063
B = 0.22575719300E+00	SIGMAB = 0.89769543575E-01	0.251485E+01	0.066
C = -0.38687133566E-01	SIGMAC = 0.24025174693E+00	-.161027E+00	0.880
D = 0.23125547402E-01	SIGMAD = 0.27602335016E-02	0.837811E+01	0.001
E = 0.10672811605E-02	SIGMAE = 0.37112818865E-02	0.287577E+00	0.788
F = -0.13298779484E-04	SIGMAF = 0.49547908257E-02	-.268402E-02	0.998
G = 0.11767047880E-02	SIGMAG = 0.87348598928E-04	0.134714E+02	0.000
H = -0.46515739239E-04	SIGMAH = 0.55036793818E-04	-.845175E+00	0.446
I = -0.22038557796E-04	SIGMAI = 0.36945757170E-04	-.596511E+00	0.583
J = 0.21604143145E-06	SIGMAJ = 0.33196698863E-04	0.650792E-02	0.995

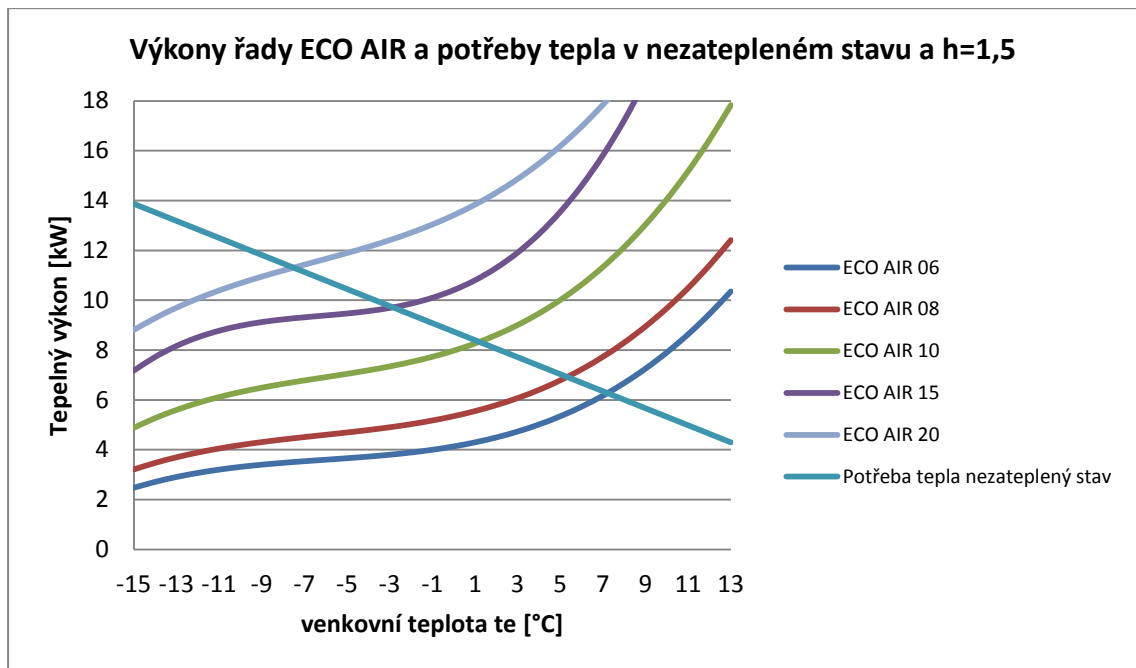
Obr.47: Parametry plochy pro Regulus EcoAir 410 z detailu programu LAB Fit

Vykreslená interpolace uvedeného příkladu tepelného čerpadla vypadá následovně (tmavé body leží přímo v interpolované rovině, světlé body leží v těsné blízkosti):

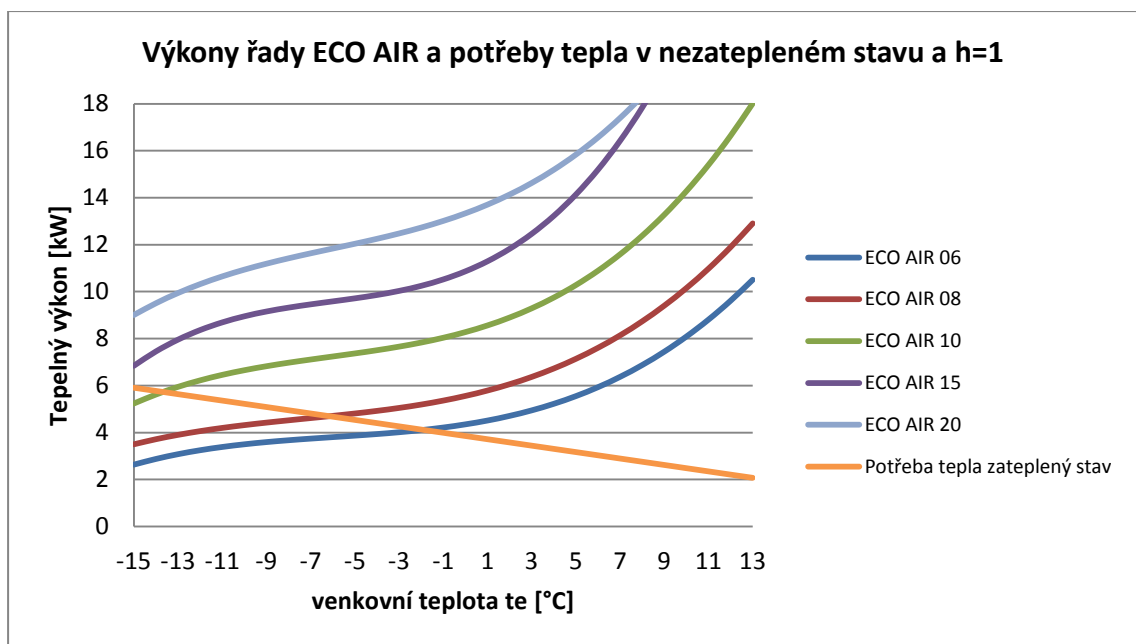


Obr.48: Interpolace Regulus EcoAir 410

Pokud jsou známy parametry rovnice plochy, pak už nic nebrání dosazení venkovních teplot a jim odpovídajících teplot otopné vody, která vyplyne z výpočtu ekvitermních křivek. Tím zjistíme výkon tepelného čerpadla v závislosti na venkovní teplotě. Je důležité si uvědomit, že toto dosazení se musí provést pro zateplený i nezateplený stav zvlášť a to z důvodu rozdílné teploty otopné vody. Výsledky pro zvolenou řadu tepelných čerpadel Regulus spolu s vyznačenou potřebou tepla dávají body bivalence pro jednotlivé modely (řady tepelných čerpadel PZP jsou z důvodu velké rozsáhlosti uvedeny v příloze 5):



Obr. 49: Výkony řady Regulus EcoAir pro nezateplený stav



Obr. 50: Výkony řady Regulus EcoAir pro zateplený stav

Body bivalence leží v průsečíku charakteristiky tepelného čerpadla a potřeby tepla a udávají podklad pro další rozhodování. Jsou důležité pro ekonomické hodnocení (o tom později), ale i pro volbu doplňkového zdroje z hlediska regulace a výkonu.

Souvislost s regulovatelností zdroje

Z výkonové charakteristiky jednotlivých modelů tepelných čerpadel je zřejmé, že pod bodem bivalence bude potřeba druhý zdroj tepla. Přitom výkon takového zdroje záleží na způsobu provozování. Při provozu paralelně – bivalentním musí doplňkový zdroj tepla (v našem případě kotel) dodat do sítě rozdíl mezi potřebným výkonem a výkonem tepelného čerpadla. Při provozu alternativně – bivalentním musí kotel dodat do sítě minimálně takový výkon, který se rovná potřebnému výkonu a maximálně výkon jmenovitý.

Tato skutečnost významně omezuje samotný výběr doplňkového zdroje tepla i palivo. Pro velké rozdíly topného výkonu je zapotřebí použít kotel s velkou regulační schopností (např. elektrokotel, plynový kotel, automatický kotel na peletky a štěpku, krbová kamna...). Pro malé rozdíly topného výkonu lze použít kotel s menší regulační schopností (např. kotel na uhlí, kotel na kusové dřevo...).

Na základě výše uvedeného byly vybrány doplňkové zdroje tepla pro nezateplený stav i stav zateplený. Na následujících stránkách jsou shrnuty vlastnosti těchto zdrojů podle katalogů jednotlivých výrobců a webu ministerstva životního prostředí, který slouží pro registraci výrobků do programu tzv. kotlíkové dotace (<http://registrace.nzu2013.cz/np/vyhledavani-vyrobku>). Proškrtnuté buňky se nepodařilo zjistit.

Tab.7: Potenciálně použitelné doplňkové zdroje tepla pro nezateplený stav

název kotle / kamen	Atmos DC15E		Atmos DC18S		Benekov C16		Benekov R16		Vladrus Hercules DUO			Vladrus Hercules DUO2			Buderus logano :161S		Dakon DOR N			
	kusové dřevo do 33cm	ruční	kusové dřevo do 33cm	ruční	HU	automatické	dřevní peletky	automatické	HU	ČU	dřevní peletky	HU	ČU	dřevní peletky	HU	ČU	automatické	HU	ČU	dřevní peletky
pálivo																				
příkládání paliva																				
rozsah výkonu [kW]	9-14,9	ruční	14-20	ruční	6-19,0	6,0-19	6,0-19	automatické	6-21,0	6-20,0	6-20,0	6-20,0	6-20,0	ruční	18	15	automatické	15	15	automatické
min. účinnost spalování [%]	81		81		88,7	91	91		84,2	84,2	87,3	83,1	84,2	86	86	86		82	82	
max.účinnost spalování [%]	90		90		89	92,1	92,1		84,2	84,2	87,3	83,1	84,2	86	86	86		88	88	
průměrná účinnost [-]	0,8505		0,8505		0,88835	0,91495	0,91495		0,842	0,842	0,873	0,831	0,842	0,86	0,86	0,86		0,847	0,847	
předepsaný tah komína [Pa]	18		20		15	12	12		15	15		15	15	15	15	15		18	18	
teplota spalin při jmenovitém výkonu [°C]	-		-		-	-	-		115-195	110-195	95-175	115-195	110-195	160-210	160-210	160-210		-	-	
vodní objem [l]	45		45		112	62	62		60	60		60	60	65	65	65		55	55	
kupní cena podle výrobce [Kč]	?		?		81 058	139 150	139 150		79 883	79 883		94 368	94 368	75 443,5	75 443,5	75 443,5		66 500	66 500	
tržní cena [Kč]	23 674		26 858		68 899	113 686	113 686		63 866	63 866		75 034	75 034	67 899	67 899	67 899		59 230	59 230	
možnost dotace	X		*		*	*	*		*	*		*	*	*	*	*		X	X	
emisioní třída kotle	3		4		4	4	4		4	4		4	4	5	5	5		4	4	
vlastní spotřeba el. energie (provoz) [W]	-		50		42	33	33		85	85		100	100	-	-	-		-	-	

Tab.8: Potenciálně použitelné doplňkové zdroje tepla pro zateplený stav

kotel / křbová kamna	AtmosD15P	Benekov R15	Buderus logano GB712	Buderus GB162-15	křbová kamna HAAS+SOHN Avesta (Vísby)	křbová kamna ABX Porí 7 AQUA
pálivo	dřevní peletky	dřevní peletky	ZP kondenzační	ZP kondenzační	kusové dřevo, dřevěné i uhlelné brikety	kusové dřevo, dřevěné brikety
příkládání paliva	automatické	automatické	automatické	automatické	ruční	ruční
rozsah výkonu [kW]	4,5-15	3,7-13	3-15,0	2,8-14,4	3,5-10	5-10
min. účinnost spalování [%]	90,3	87	97,8	107,6	(7,2 do výměníku)	(5do výměníku)
max.účinnost spalování [%]	90,4	91,4	109	110,5	-	-
průměrná účinnost [-]	0,90345	0,8898	1,0284	1,08905	0,8	0,86
předepsaný tah komína [Pa]	18	12	-	-	12	12
teplota spalin při jmenovitém výkonu [°C]	141	-	33-63	45-62	-	-
vodní objem [l]	65	62	15,8	2,5	14	8,5
kupní cena podle výrobce [Kč]	?	106 964	61 589	52 635	28 710	27 381
tržní cena [Kč]	35 430	106 964	60 500	47 372	28 710	27 381
možnost dotace	*	*	X	*	X	X
emisní třída kotle	5	3	-	5	-	-
vlastní spotřeba el. energie (provoz) [W]	42	58	-	45	0	0

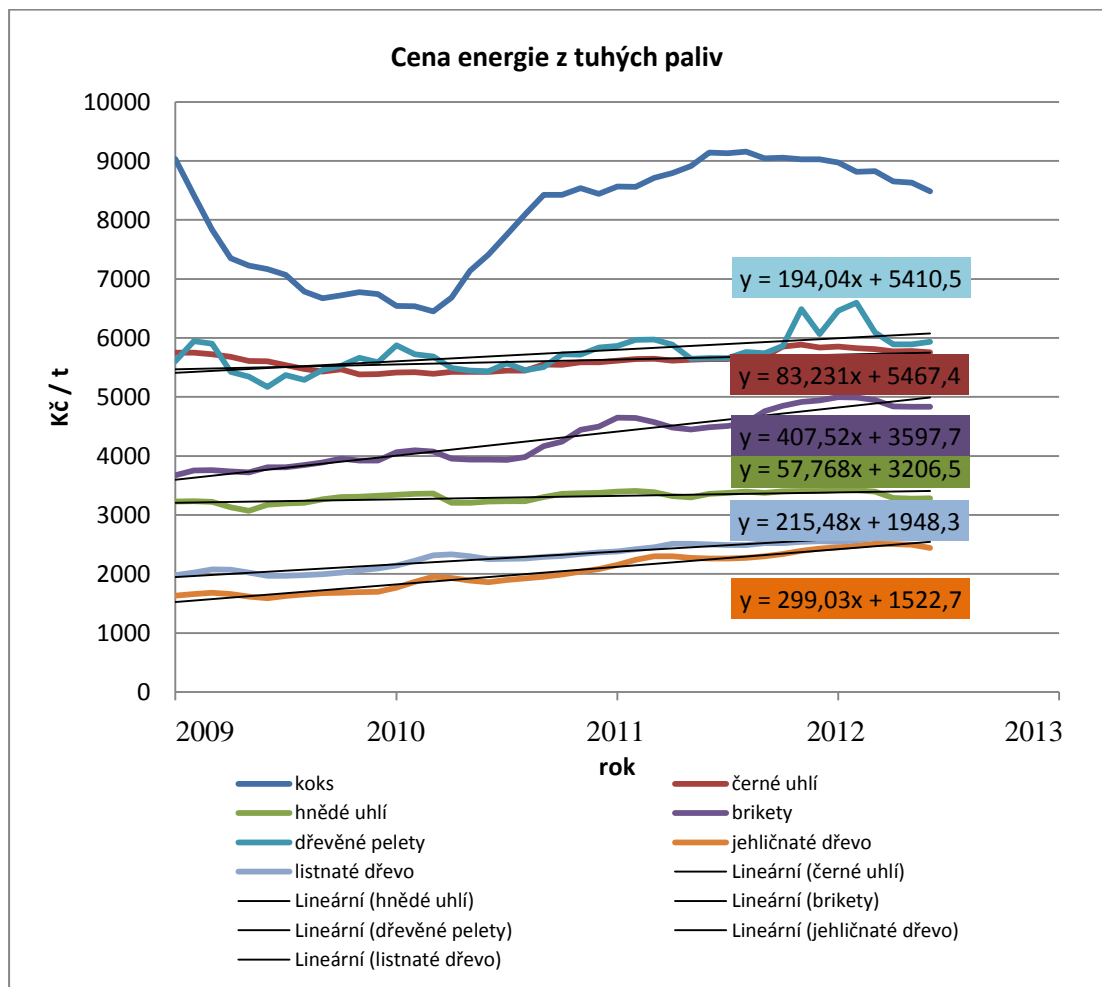
Souvislost s cenou energií

Pokud jsou známy všechny zdroje, pak lze vytvořit matici všech kombinací a zjistit náklady na pořízení a provoz a ty pak porovnat (to později). Náklady na pořízení jsou známy z katalogu výrobce potažmo prodejce a náklady na provoz vychází především z účinnosti, topného faktoru a ceny vstupů.

Mezi vstupy je zahrnuta elektřina a palivo. Vývoj cen těchto komodit je potřeba odhadnout, přičemž odhad je nutné brát s rezervou (viz. plánovaná „revoluce“ ve změně složení cen elektřiny podle ČRÚ, nejasná situace ve společnosti OKD, politické zásahy do struktury energetiky, možnost vojenského konfliktu...).

Vývoj ceny energie z tuhých paliv

Vývojový trend cen paliv se opírá o studii ministerstva obchodu a průmyslu z prosince 2012 [16], která zahrnuje tuhá paliva.



Obr.51: Ceny paliv podle studie ministerstva obchodu a průmyslu podle studie ministerstva [16]

Tato studie se vztahuje na ceny paliv obecně v ČR, proto byl využit pouze vývojový trend a základní cena je převzata od rozumně dosažitelných, lokálních prodejců (ti jsou uvedeni v elektronické příloze). Po přepočtu cen jednotlivých paliv na energetický obsah vypadá počáteční cena paliv následovně:

Tab.9: Lokální ceny energetického obsahu jednotlivých paliv

Nezateplený stav	ČERNÉ UHLÍ	HNĚDÉ UHLÍ	KUSOVÉ DŘEVO	BRIKETY DŘEVĚNÉ	PELETY
jednotková cena paliva podle dodavatele [Kč/kg]	5,3	3,1	2,375	5,42	4,945
průměrná výhřevnost [MJ/kg]	25	17	14	18	17,5
cena za dovoz paliva [Kč]	500	500	500	500	1500
výhřevnost [kWh/kg]	6,94444444	4,72222222	3,88888889	5	4,861111
cena [kč/kWh]	0,77562082	0,66889141	0,623135103	1,096420817	1,05452

Zateplený stav	ČERNÉ UHLÍ	HNĚDÉ UHLÍ	KUSOVÉ DŘEVO	BRIKETY DŘEVĚNÉ	PELETY
jednotková cena paliva podle dodavatele [Kč/kg]	5,3	3,1	2,375	5,4	4,945
průměrná výhřevnost [MJ/kg]	25	17	14	18	17,5
cena za dovoz paliva [Kč]	500	500	500	500	1500
výhřevnost [kWh/kg]	6,94444444	4,72222222	3,88888889	5	4,861111
cena [kč/kWh]	0,79241414	0,68568473	0,639928425	1,10921414	1,1049

Po dosažení aktuálních cen do vývojového trendu získáme orientační predikci vývoje cen energie ze spalování tuhých paliv.

Tab.10: Orientační predikce vývoje cen energetického obsahu tuhých paliv

NEZATEPLENÝ STAV					
rok	ČERNÉ UHLÍ [kč/kWh]	HNĚDÉ UHLÍ [kč/kWh]	KUSOVÉ DŘEVO [kč/kWh]	BRIKETY DŘEVĚNÉ [kč/kWh]	PELETY [kč/kWh]
současnost	0,775620817	0,668891406	0,623135103	1,096420817	1,054519595
2016	0,858851817	0,726659406	0,653038103	1,137172817	1,073923595
2017	0,942082817	0,784427406	0,682941103	1,177924817	1,093327595
2018	1,025313817	0,842195406	0,712844103	1,218676817	1,112731595
2019	1,108544817	0,899963406	0,742747103	1,259428817	1,132135595
2020	1,191775817	0,957731406	0,772650103	1,300180817	1,151539595
2021	1,275006817	1,015499406	0,802553103	1,340932817	1,170943595
2022	1,358237817	1,073267406	0,832456103	1,381684817	1,190347595
2023	1,441468817	1,131035406	0,862359103	1,422436817	1,209751595
2024	1,524699817	1,188803406	0,892262103	1,463188817	1,229155595
2025	1,607930817	1,246571406	0,922165103	1,503940817	1,248559595
2026	1,691161817	1,304339406	0,952068103	1,544692817	1,267963595
2027	1,774392817	1,362107406	0,981971103	1,585444817	1,287367595
2028	1,857623817	1,419875406	1,011874103	1,626196817	1,306771595
2029	1,940854817	1,477643406	1,041777103	1,666948817	1,326175595
2030	2,024085817	1,535411406	1,071680103	1,707700817	1,345579595
2031	2,107316817	1,593179406	1,101583103	1,748452817	1,364983595
2032	2,190547817	1,650947406	1,131486103	1,789204817	1,384387595
2033	2,273778817	1,708715406	1,161389103	1,829956817	1,403791595
2034	2,357009817	1,766483406	1,191292103	1,870708817	1,423195595
2035	2,440240817	1,824251406	1,221195103	1,911460817	1,442599595

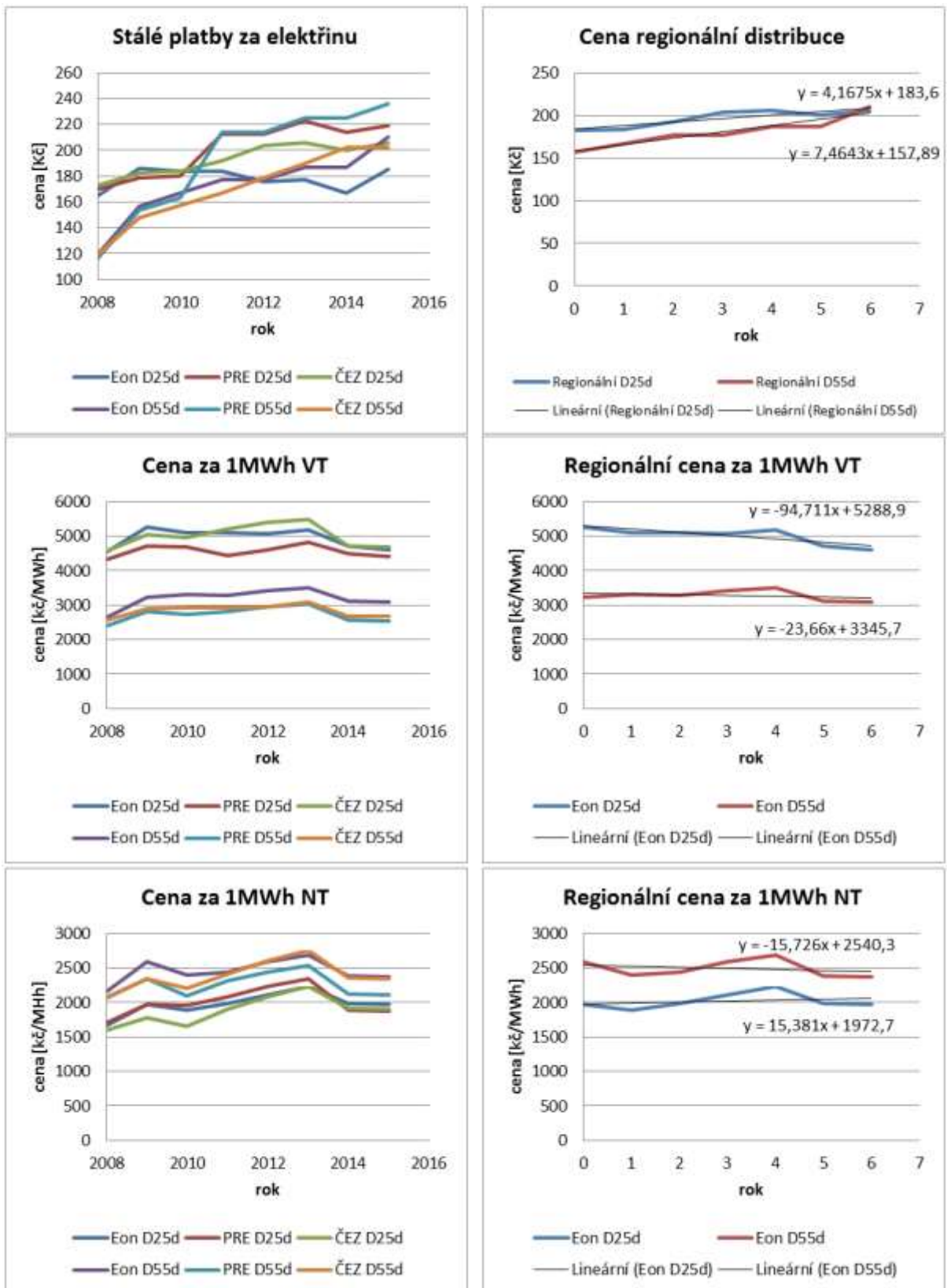
ZATEPLENÝ STAV

rok	ČERNÉ UHLÍ [kč/kWh]	HNĚDÉ UHLÍ [kč/kWh]	KUSOVÉ DŘEVO [kč/kWh]	BRIKETY DŘEVĚNÉ [kč/kWh]	PELETY [kč/kWh]
současnost	0,79241414	0,685684728	0,639928425	1,10921414	1,104899562
2016	0,87564514	0,743452728	0,669831425	1,14996614	1,124303562
2017	0,95887614	0,801220728	0,699734425	1,19071814	1,143707562
2018	1,04210714	0,858988728	0,729637425	1,23147014	1,163111562
2019	1,12533814	0,916756728	0,759540425	1,27222214	1,182515562
2020	1,20856914	0,974524728	0,789443425	1,31297414	1,201919562
2021	1,29180014	1,032292728	0,819346425	1,35372614	1,221323562
2022	1,37503114	1,090060728	0,849249425	1,39447814	1,240727562
2023	1,45826214	1,147828728	0,879152425	1,43523014	1,260131562
2024	1,54149314	1,205596728	0,909055425	1,47598214	1,279535562
2025	1,62472414	1,263364728	0,938958425	1,51673414	1,298939562
2026	1,70795514	1,321132728	0,968861425	1,55748614	1,318343562
2027	1,79118614	1,378900728	0,998764425	1,59823814	1,337747562
2028	1,87441714	1,436668728	1,028667425	1,63899014	1,357151562
2029	1,95764814	1,494436728	1,058570425	1,67974214	1,376555562
2030	2,04087914	1,552204728	1,088473425	1,72049414	1,395959562
2031	2,12411014	1,609972728	1,118376425	1,76124614	1,415363562
2032	2,20734114	1,667740728	1,148279425	1,80199814	1,434767562
2033	2,29057214	1,725508728	1,178182425	1,84275014	1,454171562
2034	2,37380314	1,783276728	1,208085425	1,88350214	1,473575562
2035	2,45703414	1,841044728	1,237988425	1,92425414	1,492979562

Vývoj ceny elektrické energie

Celková cena elektrické energie se skládá z měsíčního platu za rezervovaný příkon podle jmenovité proudové hodnoty hlavního jističe před elektroměrem, z ceny systémových služeb, z ceny podpory výkupu elektřiny, ceny za činnost operátora trhu elektřiny a ceny za jednotku spotřebované elektřiny podle tarifu. Zkráceně tedy paušální platby + cena za spotřebovanou elektřinu.

Postup odhadu vývoje celkové ceny byl proveden stejně jako v případě tuhých paliv. Avšak určit rozumně vývoj, je velice obtížné. Proto bude přihlédnuto k reprezentativnímu časovému úseku a ke všem distributorům, nejen k regionálnímu. Data jsou převzata z webu jednotlivých distribučních společností a webu tzb.info. Tarify jsou voleny pro konkrétní případ, tedy D25d a D55d.[17]



Obr.52: Vývojový trend ceny elektřiny podle distributora [17]

Z vývoje lze vypožorovat, že cena distribuce elektrické energie poměrně rychle roste, zatímco cena výroby je vyrovnaná, nebo pozvolna klesá. Takový trend bude zcela jistě pokračovat a je demonstrací měnící se energetické koncepce. Totiž výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů (voda, vítr, slunce...) nestojí téměř nic v porovnání s klasickou výrobou. Na druhé straně však působí značné problémy pro distribuci, protože není ve větší míře vyřešena akumulace elektřiny. Rozbor situace v ČR by dal na samostatnou práci, pro kterou ovšem není prostor.

Pro konkrétního distributora elektřiny platí tyto ceny:

Tab.11: Cena elektřiny konkrétního distributora

Nezateplený stav	ELEKTRINA	ELEKTRINA pro TČ
	D25d (do25A)	D55d (do25A)
suma stálých plateb za 1měsíc podle tarifu a dodavatele [Kč]	181,5	206,91
cena za odebranou kWh podle VT tarifu a dodavatele [Kč]	4,40675	2,91229
cena za odebranou kWh podle NT tarifu a dodavatele [Kč]	1,81077	2,20765
CELKEM cena za 1kWh [Kč]	3,94165908	2,304561791

Zateplený stav	ELEKTRINA	ELEKTRINA pro TČ
	D25d (do25A)	D55d (do25A)
suma stálých plateb za 1měsíc podle tarifu a dodavatele [Kč]	181,5	206,91
cena za odebranou kWh podle VT tarifu a dodavatele [Kč]	4,40675	2,91229
cena za odebranou kWh podle NT tarifu a dodavatele [Kč]	1,81077	2,20765
CELKEM cena za 1kWh [Kč]	4,014810792	2,387954743

Po dosazení aktuálních cen konkrétního distributora do vývojového trendu získáme orientační predikci vývoje cen elektrické energie:

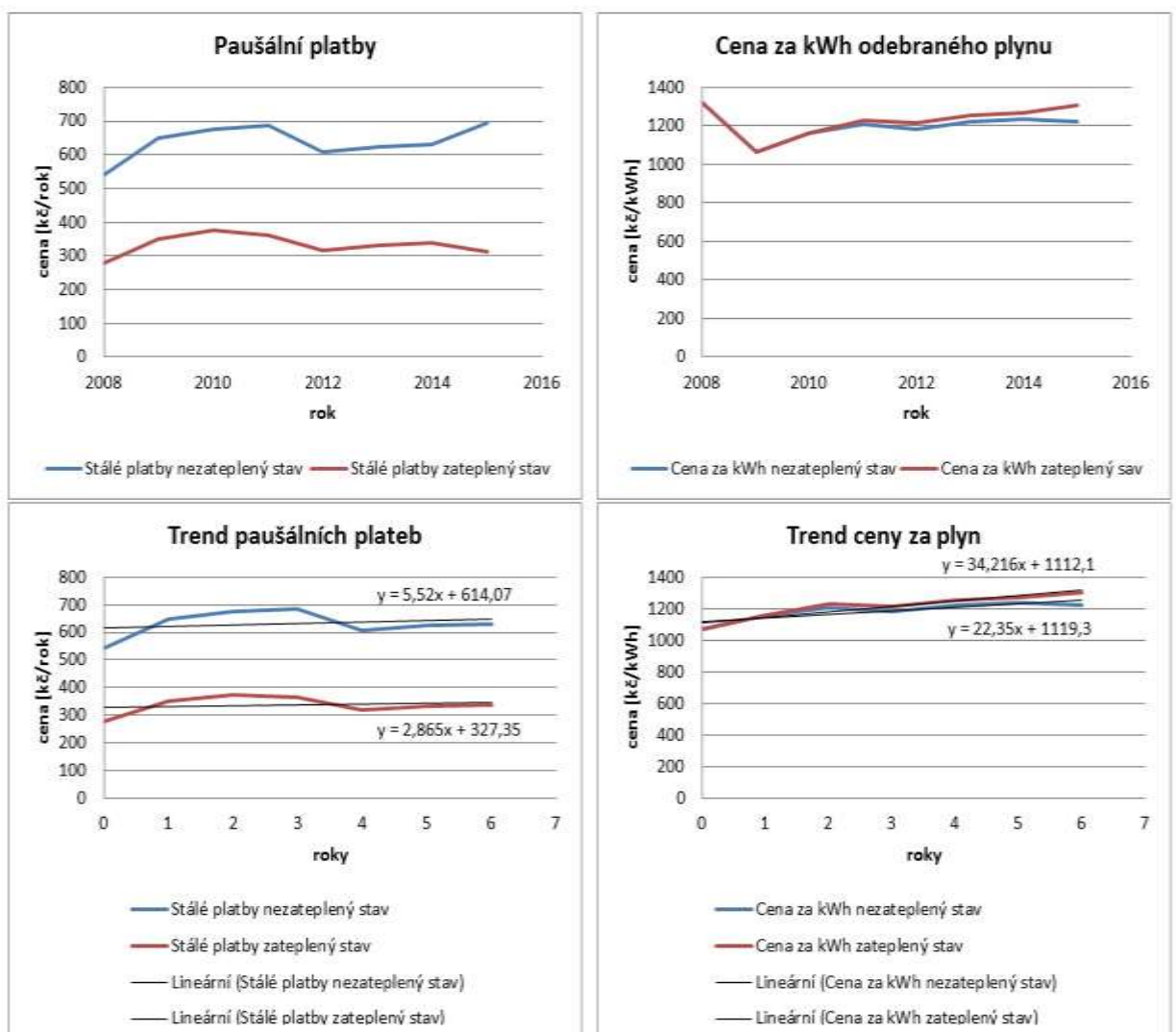
Tab.12: Orientační predikce vývoje cen elektřiny během následujících 10 let

rok	Nezateplený stav		Zateplený stav	
	Celkem D25d [kč/kWh]	Celkem D55d [kč/kWh]	Celkem D25d [kč/kWh]	Celkem D55d [kč/kWh]
současnost	3,94165908	2,938737791	4,014810792	3,022130743
2016	3,87020881	2,947267681	3,945040191	3,033669043
2017	3,79875854	2,955797571	3,875269589	3,045207342
2018	3,727308271	2,964327461	3,805498987	3,056745642
2019	3,655858001	2,972857351	3,735728385	3,068283941
2020	3,584407731	2,981387241	3,665957784	3,079822241
2021	3,512957461	2,989917131	3,596187182	3,09136054
2022	3,441507191	2,998447021	3,52641658	3,102898839
2023	3,370056921	3,006976911	3,456645978	3,114437139
2024	3,298606651	3,015506801	3,386875377	3,125975438
2025	3,227156382	3,024036691	3,317104775	3,137513738

Vývoj ceny plynu

Celková cena za plyn se skládá z ceny za distribuci (= cena za služby operátora trhu [kč/kWh], pevná cena za odebíraný plyn [kč/kWh], stálý měsíční plat [kč/měsíc]) a z ceny za odebraný zemní plyn (= cena za odebraný plyn [kč/kWh], stálý měsíční plat [kč/měsíc]). Zkráceně tedy opět paušální platby + cena za spotřebovaný plyn. Je nutné si uvědomit, že tarif pro zateplený a nezateplený stav bude odlišný.

Vývoj ceny plynu lokálního dodavatele a vývojový trend je znázorněn na následujícím obrázku:



Obr.53: Vývojový trend ceny plynu [17]

Pro konkrétního distributora plynu platí tyto ceny:

Tab.13: Cena plynu konkrétního distributora

Nezateplený stav		PLYN
suma stálých plateb za 1měsíc podle tarifu a dodavatele [Kč]		526,36
cena za odebranou kWh podle tarifu a dodavatele [Kč]		1,17138
CELKEM cena za 1kWh [Kč]		1,328288
Zateplený stav		PLYN
suma stálých plateb za 1měsíc podle tarifu a dodavatele [Kč]		335,48
cena za odebranou kWh podle tarifu a dodavatele [Kč]		1,1933
CELKEM cena za 1kWh [Kč]		1,428518

Po dosazení aktuálních cen konkrétního distributora do vývojového trendu získáme orientační predikci vývoje cen energie z plynu:

Tab.14: Orientační predikce vývoje cen plynu během následujících 10 let

rok	Nezateplený stav			Zateplený stav		
	paušální platby [kč]	komodita [kč/kWh]	celkem [kč/kWh]	paušální platby [kč]	komodita [kč/kWh]	celkem [kč/kWh]
současnost	526,36	1,17138	1,328287713	335,48	1,1933	1,42851823
2016	531,88	1,19373	1,352283223	338,345	1,227516	1,464742994
2017	537,4	1,21608	1,376278733	341,21	1,261732	1,500967758
2018	542,92	1,23843	1,400274243	344,075	1,295948	1,537192522
2019	548,44	1,26078	1,424269753	346,94	1,330164	1,573417287
2020	553,96	1,28313	1,448265263	349,805	1,36438	1,609642051
2021	559,48	1,30548	1,472260773	352,67	1,398596	1,645866815
2022	565	1,32783	1,496256282	355,535	1,432812	1,682091579
2023	570,52	1,35018	1,520251792	358,4	1,467028	1,718316344
2024	576,04	1,37253	1,544247302	361,265	1,501244	1,754541108
2025	581,56	1,39488	1,568242812	364,13	1,53546	1,790765872

Porovnání jednotlivých kombinací zdrojů tepla a konečný výběr

Jak již bylo řečeno, pokud jsou známy všechny zdroje, pak lze vytvořit matici všech kombinací a zjistit náklady na pořízení a provoz a ty pak porovnat. Nejprve je však nutné zjistit, kolik tepla dodá celkem tepelné čerpadlo během otopné sezóny a kolik zbyde na doplňkový zdroj (pokud něco zbyde). Porovnání je výhodnější provést při provozu paralelně bivalentním, tj. provozu, kdy pracuje tepelné čerpadlo i pod bodem bivalence.

Pokud je známo, kolik dní v otopné sezóně trvá určitá venkovní teplota, respektive kolik dní trvá určitá tepelná ztráta, pak lze postupně posčítat (integrovat) topný výkon, který vždy odpovídá této tepelné ztrátě. To vždy od teploty počátku otopné sezóny až po teplotu bivalence. Tím se zjistí krytí tepelných ztrát jako by bylo tepelné čerpadlo provozováno v provozu alternativně bivalentním (čili v té části, kdy výkon tepelného čerpadla stačí pokrýt všechny ztráty).

Podobným způsobem lze zjistit i výkon tepelného čerpadla pod bodem bivalence, jelikož opět známe, kolik dní v otopné sezóně trvá určitá venkovní teplota a zároveň je znám i výkon tepelného čerpadla při této venkovní teplotě. Čili je známo, kolik dní trvá určitý výkon tepelného čerpadla. Po posčítání lze zjistit výkon tepelného čerpadla dodaný během otopné sezóny do sítě pod bodem bivalence (tj. v té části, kdy výkon tepelného čerpadla nestačí pokrýt všechny ztráty).

Jednoduchým součtem obou částí lze zjistit celkovou dodávku tepla tepelným čerpadlem při provozu paralelně bivalentním. Zbytek na dotopení doplňkovým zdrojem je potom dán rozdílem celkové potřeby tepla a celkovou dodávkou tepla tepelným čerpadlem.

Výsledky pro všechny typy tepelných čerpadel, včetně dalších důležitých informací, shrnují následující tabulky:

Tab.15: Dodávka tepla tepelných čerpadel pro nezateplený stav

NEZATEPLENÝ STAV	Krytí tepelného čerpadla			Zbytek na dotopení			Důležité údaje		
	teplota bivalence [°C]	počet dní nad bivalentním bodem [-]	při alternativně bivalentním provozu [kWh]	pod bodem bivalence [kWh]	při paralelně bivalentním provozu [kWh]	alternativně bivalentní provoz [kWh]	paralelně bivalentní provoz [kWh]	průměrný topný faktor	cena zařízení [Kč]
Tepelné čerpadlo									
PZP Arctic 06	7,25	64,3	6079,032648	2642,14748	8721,180128	34880,15424	32238,00676	2,5	167000
PZP Arctic 08	3,5	120,1	13847,59617	3861,288934	17708,8851	27111,59072	23250,30179	2,7	173000
PZP Arctic 10	0,5	166,5	21832,239	3782,453313	25614,69232	19126,94789	15344,49457	2,8	179000
PZP Arctic 14	-4,5	220,5	32908,18533	2163,597678	35071,78301	8051,00156	5887,40388	2,8	199000
PZP 06 Economic	5	96,6	10308,96213	3586,638269	13895,6004	30650,22476	27063,58649	2,8	137000
PZP 08 Economic	1,5	151,6	19134,87137	4003,904064	23138,77543	21824,31553	17820,41146	2,9	143000
PZP 10 Economic	-2,5	203,7	29172,08505	2937,000517	32109,08557	11787,10184	8850,101322	3	149000
PZP 14 Economic	-5,25	225,1	34003,58949	1623,968079	35627,55757	6955,59740	5331,629325	2,9	168000
PZP SPLIT 06	5,75	85,3	8747,100827	3280,038975	12027,1398	32212,08606	28932,04709	2,9	231000
PZP SPLIT 08	2,5	136,0	16442,74517	3807,384406	20250,12957	24516,44172	20709,05732	3	236000
PZP SPLIT 10	-0,5	180,4	24448,67115	3446,836663	27895,50782	16510,51574	13063,67907	3	248000
PZP SPLIT 12	-3	208,6	30210,34707	2701,78675	32912,13382	10748,83983	8047,053076	3	263000
PZP SPLIT 14	-6,5	230,8	35445,51706	1351,403653	36796,92072	5513,66983	4162,266175	3	288000
Regulus Eco Air 06	7,25	64,3	6079,032648	4395,842395	10474,87504	34880,15424	30484,31185	2,89	114900
Regulus Eco Air 08	5,5	89,0	9251,064452	4423,936716	13675,00117	31708,12244	27284,18572	2,93	117900
Regulus Eco Air 10	1,25	155,4	19812,29099	4034,261535	23846,55253	21146,89590	17112,63436	3,07	135900
Regulus Eco Air 15	-3	208,6	30210,34707	2559,130844	32769,47791	10748,83983	8189,708982	2,9	167000
Regulus Eco Air 20	-7,5	234,0	36280,64818	988,6350608	37269,28325	4678,53871	3689,903646	2,92	183900

Tab.16: Dodávka tepla tepelných čerpadel pro zateplený stav

ZATEPLENÝ STAV	Krytí tepelného čerpadla			Zbytek na dotopění			Důležité údaje		
	tepnota bivalence [°C]	počet dní nad bivalentním bodem [-]	při alternativně bivalentním provozu [kWh]	pod bodem bivalence [kWh]	při paralelně bivalentním provozu [kWh]	alternativně bivalentní provoz [kWh]	paralelně bivalentní provoz [kWh]	průměrný topný faktor [-]	cena zařízení [Kč]
Tepelné čerpadlo									
PZP Arctic 06	-4,5	220,5	13991,89753	957,4825099	14949,38004	3423,123664	2465,641154	3,2	167000
PZP Arctic 08	-7,5	234,0	15425,8008	474,7217303	15900,52253	1989,220389	1514,498659	3,3	173000
PZP Arctic 10	-14	246,8	16969,06414	395,4049052	17364,46905	445,9570448	50,55213954	3,3	179000
PZP Arctic 14	-15	250,0	17397,27404	-	-	0	0	3,4	199000
PZP 06 Economic	-6,75	231,7	15169,96468	552,0576413	15722,02232	2245,056505	1692,998864	3,5	137000
PZP 08 Economic	-12,25	242,4	16407,43697	264,93363	16672,3706	1007,584215	742,6505851	3,5	143000
PZP 10 Economic	-15	250,0	17397,27404	-	-	0	0	3,7	149000
PZP 14 Economic	-15	250,0	17397,27404	-	-	0	0	3,6	168000
PZP SPLIT 06	-6,25	229,8	14963,96162	647,771113	15611,73273	2451,059569	1803,288456	3,4	231000
PZP SPLIT 08	-12	241,9	16346,88314	263,3318866	16610,21503	1068,138049	804,8061628	3,5	236000
PZP SPLIT 10	-15	250,0	17397,27404	-	-	0	0	3,4	248000
PZP SPLIT 12	-15	250,0	17397,27404	-	-	0	0	3,5	263000
PZP SPLIT 14	-15	250,0	17397,27404	-	-	0	0	3,6	288000
Regulus Eco Air 06	-2	198,5	11935,40897	1320,950367	13256,35934	5479,612217	4158,66185	3,66	114900
Regulus Eco Air 08	-6	228,8	14849,44492	644,7965028	15494,24142	2565,576274	1920,779771	3,76	117900
Regulus Eco Air 10	-13,75	246,0	16872,94052	404,1293462	17277,06987	542,0806673	137,9513211	3,83	135900
Regulus Eco Air 15	-15	250,0	17397,27404	-	-	0	0	3,52	167000
Regulus Eco Air 20	-15	250,0	17397,27404	-	-	0	0	3,52	183900

Na základě znalosti rozdělení krytí tepelné potřeby mezi tepelné čerpadlo a doplňkový zdroj lze vytvořit bilanci nákladů. Pro každou kombinaci tepelného čerpadla a doplňkového zdroje (i samotného tepelného čerpadla a samotného doplňkového zdroje) byly určeny náklady na pořízení i provoz. Rozhodující pro výběr přitom bude součet nákladů na pořízení obou zdrojů a nákladů na jejich provoz po předpokládanou dobu životnosti.

Náklady na provoz obou zdrojů pro jeden rok se určí:

$$N_{pr} = \frac{Q_{t\check{c}} \cdot C_{el}}{\varepsilon_t} + \frac{Q_{dz} \cdot C_{vst}}{\eta_{dz}} \text{ [kč]}$$

Kde:

$Q_{t\check{c}}$krytí ztrát tepelným čerpadlem [kWh]

C_{el}cena elektřiny spotřebované tepelným čerpadlem [kč/kWh]

ε_ttopný faktor tepelného čerpadla [-]

Q_{dz}krytí ztrát doplňkovým zdrojem [kWh]

C_{vst}cena vstupu pro doplňkový zdroj [Kč/kWh]

η_{dz}účinnost doplňkového zdroje [-]

Náklady provozu za určité období jsou potom součtem nákladů za jednotlivé roky, přičemž C_{el} a C_{vst} se každý rok mění.

Náklady na pořízení zdrojů N_p se zjistí součtem ceny tepelného čerpadla a doplňkového zdroje.

Celkové náklady pro určité období se tedy rovnají:

$$N = N_p + \sum N_{pr}$$

Výsledky nákladů jsou z důvodu rozsáhlosti uvedeny v elektronické příloze a to zvlášť pro provoz a pro provoz a pořízení. Obojí za první rok, za deset let a za dvacet let. Na následující stránce jsou uvedeny předpokládané výsledky po dvaceti letech (náklady na pořízení + provoz). Zeleně je vyznačeno vždy pět nejnižších hodnot.

Tab. 17: Celkové náklady (tj. nákup a provoz) pro nezateplený stav

Náklady po 20 letech (bez poruch) [Kč]	Potenciálně přípustné kotle pro nezateplený stav										TČ přitápěné vlastním zdrojem
	Atmos DC15E	Atmos DC18S	Benekov C16	Benekov R16	Viadrus Hercules DUO	Viadrus Hercules DUO2	Buderus logano 161S	Dakon DORN			
PZP Arctic 06	1 137 431	1 140 615	1 397 951	1 403 709	1 426 651	1 437 819	1173808	1 442 916			2416249
PZP Arctic 08	1 132 230	1 135 414	1 332 728	1 349 367	1 352 024	1 363 192	1170796	1 362 461			2047924
PZP Arctic 10	1 121 733	1 124 917	1 269 433	1 295 643	1 280 456	1 291 624	1162222	1 285 768			1718012
PZP Arctic 14	1 140 892	1 144 076	1 225 435	1 263 094	1 226 562	1 237 730	1183684	1 225 743			1355083
PZP 06 Economic	1 078 192	1 081 376	1 304 156	1 316 178	1 327 441	1 338 609	1115829	1 340 351			2147951
PZP 08 Economic	1 064 079	1 067 263	1 228 314	1 251 527	1 241 928	1 253 096	1103966	1 248 846			1760392
PZP 10 Economic	1 038 292	1 041 476	1 142 621	1 176 693	1 146 848	1 158 016	1080363	1 147 950			1372183
PZP 14 Economic	1 078 442	1 081 626	1 159 273	1 197 606	1 159 819	1 170 987	1121369	1 158 640			1270179
PZP SPLIT 06	1 178 080	1 181 264	1 416 522	1 426 282	1 441 762	1 452 930	1215262	1 455 884			2323329
PZP SPLIT 08	1 160 260	1 163 444	1 343 786	1 363 501	1 360 422	1 371 590	1199443	1 369 213			1973280
PZP SPLIT 10	1 159 930	1 163 114	1 292 398	1 321 369	1 301 034	1 312 202	1200975	1 304 868			1664059
PZP SPLIT 12	1 167 908	1 171 092	1 266 874	1 301 919	1 270 261	1 281 429	1210174	1 270 842			1469354
PZP SPLIT 14	1 189 478	1 192 662	1 262 500	1 302 248	1 261 823	1 272 991	1232690	1 259 885			1333970
Regulus Eco Air 06	1 047 110	1 050 294	1 295 919	1 303 799	1 322 783	1 333 951	1083914	1 337 911			2255074
Regulus Eco Air 08	1 043 192	1 046 376	1 270 630	1 282 385	1 294 146	1 305 314	1080775	1 307 199			2121864
Regulus Eco Air 10	1 027 520	1 030 704	1 187 029	1 211 098	1 199 902	1 211 070	1067580	1 206 361			1695237
Regulus Eco Air 15	1 080 585	1 083 769	1 180 503	1 215 375	1 184 039	1 195 207	1122816	1 184 713			1387794
Regulus Eco Air 20	1 089 505	1 092 689	1 159 372	1 199 692	1 158 200	1 169 368	1132831	1 155 956			1214911
samotný kotel	926 285	929 469	1 245 048	1 240 247	1 282 874	1 294 042	960539	1 304 792			X

Tab.18: Celkové náklady pro zateplený stav (podtržená TČ mohou pracovat jako monovalentní zdroj)

Náklady po 20 letech (bez poruch) [Kč]	Potenciálně přípustné kotle pro zateplený stav							TČ přitápěné vlastním zdrojem
	Tepelné čerpadlo v zatepleném stavu	AtmosD15P	Benekov R15	Buderus logano GB212	Buderus GB162-15	krbová kamna HAASS+SOHN Avesta	krbová kamna ABX Pori 7 AQUA	
PZP Arctic 06	592598	665227	615017	632976	573248	567817	645536	
PZP Arctic 08	581163	653370	599541	615636	566686	562837	600013	
PZP Arctic 10	573541	645098	585698	598925	566562	565149	539923	
PZP Arctic 14			550852					
PZP 06 Economic	524419	596705	543555	560000	509027	504881	549666	
PZP 08 Economic	520857	592721	535955	550538	510333	507769	512044	
PZP 10 Economic			467244					
PZP 14 Economic			497313					
PZP SPLIT 06	641980	714316	661585	678246	626024	621694	671180	
PZP SPLIT 08	628491	700383	643853	658558	617649	614981	621906	
PZP SPLIT 10			607202					
PZP SPLIT 12			615252					
PZP SPLIT 14			635313					
Regulus Eco Air 06	515738	589120	545352	566627	487716	479468	629354	
Regulus Eco Air 08	485717	558105	505821	522713	469159	464634	519128	
Regulus Eco Air 10	479297	550893	491826	505224	471871	470312	448812	
Regulus Eco Air 15			503075					
Regulus Eco Air 20			522510					
samotný kotel	539941	619214	625888	673134	444019	413715	X	

Z provedené analýzy vyplývá, že volba vhodného zdroje tepla je z hlediska delšího časového horizontu velice důležitá záležitost. V řešeném případě v zatepleném stavu se v horizontu 20 let může jednat o rozdíl cca 230 tisíc Kč a v případě nezatepleného stavu pak téměř 1,5 milionu Kč.

Je zřejmé, že důležitou roli při výběru bude hrát cena paliv, vývoj jejich ceny a dostupnost. Obecně lze říci, že zdroje, které se nemusí složitě upravovat, budou lepší volbou, než zdroje upravované. Z hlediska predikce vývoje cen je nejsložitější vývoj ceny elektřiny a plynu a u plynu jde ještě o otázku dostupnosti v případě nepříznivé politické situace.

Dále je třeba si uvědomit, že použitím tepelného čerpadla se změní i tarif dodavatele elektřiny (pro tepelné čerpadlo jde o tarif D55d), který je mnohem výhodnější jak sazbou za spotřebovanou kWh, ale také pro dobu trvání nízkého tarifu 22h denně. Ten je možno využívat pro celou domácnost a tím pádem se ušetří za spotřebu mimo vytápění. Pro konkrétní domácnost se jedná o rozdíl tarifu D25d (do 25A, NT po dobu 8 hodin) a tarifu D55d (do 25A, NT po dobu 22 hodin). Pokud bychom předpokládali reálné využití NT:VT ~ 20:80 u tarifu D25d a ~ 95:5 u tarifu D55d, pak by při průměrné spotřebě cca 3400 kWh/rok byl rozdíl v ceně elektřiny pro jiné účely než pro tepelné čerpadlo cca 2 190 Kč ročně v nezatepleném stavu a cca 2 135 Kč ročně v zatepleném stavu (průměrný rozdíl z desetileté predikce vývoje cen elektřiny).

Ušetřit také lze snížením spotřeby elektrické energie na ohřev teplé užitkové vody pomocí tepelného čerpadla, které bude pracovat v tarifu D55d a navíc většinu roku s vysokým topným faktorem. Toto řešení ale obnáší investici do komponent, které umožní tento ohřev a možná výkonnější tepelné čerpadlo.

Při volbě konkrétního zdroje je samozřejmě také důležitá subjektivní preference (ruční / automatické přikládání, zkušenosti s výrobcem, skladovací možnosti, velikost kotelny, blízkost okolních obydlí...).

Na základě výše uvedeného byly zvoleny tyto zdroje:

Pro nezateplený stav Atmos DC15E + PZP AWX10 Economic. Čili zplyňovací kotel na kusové dřevo a tepelné čerpadlo vzduch – voda.

Zápory

Volený systém není nejlevnějším řešením a kotel by mohl být litinový, nicméně jeho cena je odpovídající a výhřevné plochy jsou chráněny keramikou. Palivem je kusové dřevo s ručním přikládáním a předpokládanou frekvencí doplňování 4h při jmenovitém výkonu. Velkou nevýhodou je potřeba velkého prostoru pro skladování dřeva a samozřejmě práce.

Klady

Tepelné čerpadlo bude pracovat v soustavě s bodem bivalence přibližně $-2,5^{\circ}\text{C}$, což by při teplotně průměrném otopném období mělo znamenat využití 204 dní. Zbytek otopného období (cca 1,5měsíce) bude přitápět kotel, takže ruční přikládání nepředstavuje takový problém. Navíc se sníží potřeba paliva a tím pádem budou zapotřebí menší skladovací prostory a méně práce.

Pro zateplený stav PZP AWX10 Economic v monovalentním provozu.

Zápory

Volená možnost není opět nejlevnějším řešením, nicméně nejedná se o velký cenový rozdíl oproti nejlevnější variantě. Pokud nastane porucha tepelného čerpadla, pak nebude možné vytápět.

Klady

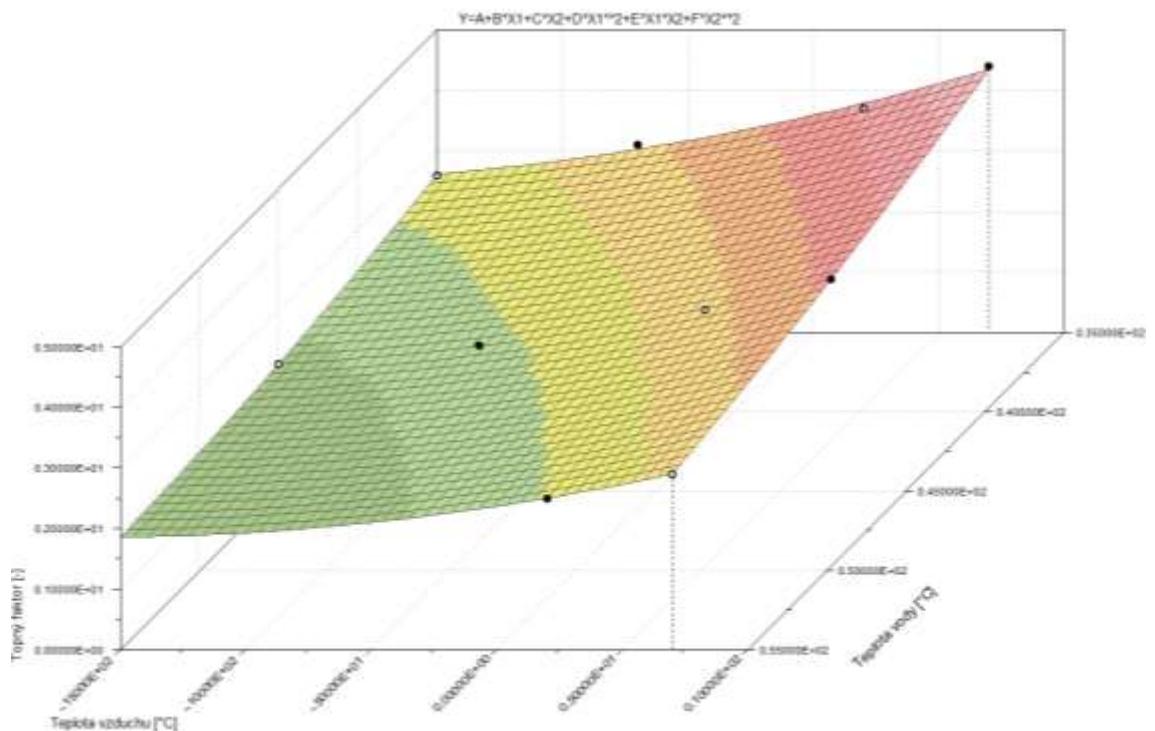
Pokud bude fungovat tepelné čerpadlo bez poruch, pak nebude nutné shánět palivo, čímž se značně ulehčí práce a ušetří se skladovací prostory.

Zpřesnění výsledků pro vybrané zdroje

V této části budou zpřesněny výpočty pro konkrétní zdroje a budou uvedeny výsledky v přehledné formě. V nezatepleném stavu bude navíc brán zřetel na optimalizaci provozu z hlediska ekonomického.

Nezateplený stav

V nezatepleném stavu budou provozovány dva zdroje tepla a proto je potřeba upřesnit jejich společné působení. To se odvíjí od výhledově nejnvýhodnější délce provozu jednoho a druhého zdroje (popřípadě souběžného provozu obou, či částečně souběžného chodu) podle ekonomiky. K tomu, abychom byli schopni zajistit co nejlepší ekonomiku, bude potřeba zpřesnit výpočet topného faktoru tepelného čerpadla. Topný faktor se zjistí regresí v prostoru podobně jako výkon tepelného čerpadla. Výsledky jsou v elektronické příloze.



Obr.54: Regrese topného faktoru pro PZP AVX10 Economic

Tímto krokem se zjistí závislost topného výkonu na venkovní teplotě při konkrétních stavech otopné soustavy (tzn. při kombinaci venkovních teplot a jim odpovídajících teplot otopné vody pro nezateplený stav).

Zjištěný topný faktor bude porovnán s minimálním topným faktorem, který je zapotřebí, aby se vyrovnaly náklady na 1kWh elektřiny podle tarifu pro tepelné čerpadlo a náklady na 1kWh energie z palivového dřeva.

$$\frac{\text{Náklady na 1kWh elektřiny pro D55d}}{\frac{\text{Náklady na 1kWh z pal. dřeva}}{\text{minimální účinnost kotle}}} = \text{minimální topný faktor}$$

V horizontu plánované životnosti lze pomocí predikce cen a účinnosti kotle určit, že **minimální topný faktor** bude průměrně **2,7**. Tohoto topného faktoru dosáhne tepelné čerpadlo přibližně v bodě bivalence. Pod touto hodnotou topného faktoru tedy bude výhledově výhodnější topit palivovým dřevem.

Nejvýhodnější provoz obou zdrojů tedy bude **alternativně – bivalentní**. Výsledky, kterých tento otopný systém dosáhne, shrnuje následující tabulka.

Tab.19: Souhrn pro nezateplený stav

teplota bivalence [°C]	počet dní nad bivalentním bodem [-]	alternativně bivalentní provoz TČ [kWh]	alternativně bivalentní provoz kotle [kWh]	celkem	průměrný topný faktor [-]
-2,5	203,7	29172,1	11787,1	40959,2	3,08

PROVOZ	alternativně bivalentní provoz [kč]	alternativně bivalentní provoz [kč]	celkem [kč]	objem suchého paliva kotle [prm]
Náklady 1.rok [Kč]	27 830	8 636	36 466	3,988
Náklady po 10 letech (bez poruch) [Kč]	282 746	109 154	391 899	
Náklady po 20 letech (bez poruch) [Kč]	573 569	259 750	833 320	

PROVOZ + NÁKUP ZDROJŮ TEPLA (bez poruch)	celkem [kč]
Náklady 1.rok [Kč]	231 490
Náklady po 10 letech (bez poruch) [Kč]	586 923
Náklady po 20 letech (bez poruch) [Kč]	1 028 344

Zateplený stav

V zatepleném stavu bude provozován jediný zdroj tepla, a sice tepelné čerpadlo PZP AVX10 Economic (shodou okolností stejný zdroj tepla jako ve stavu nezatepleném). Topný faktor se zjistí opět regresí v prostoru a tímto se zjistí závislost topného výkonu na venkovní teplotě při konkrétních stavech otopné soustavy (tzn. při kombinaci venkovních teplot a jim odpovídajících teplot otopné vody pro zateplený stav).

Nejvýhodnější provoz tedy bude **monovalentní**. Výsledky, kterých tento otopný systém dosáhne, shrnuje následující tabulka.

Tab.20: Souhrn pro zateplený stav

teplota bivalence [°C]	počet dní nad bivalentním bodem [-]	monovalentní provoz TČ [kWh]	provoz kotle [kWh]	celkem	průměrný topný faktor [-]
-	250	40959,2	-	40959,2	3,96

PROVOZ	monovalentní provoz [kč]
Náklady 1.rok [Kč]	13 274
Náklady po 10 letech (bez poruch) [Kč]	135 535
Náklady po 20 letech (bez poruch) [Kč]	276 138

PROVOZ + NÁKUP ZDROJŮ TEPLA (bez poruch)	celkem [kč]
Náklady 1.rok [Kč]	184 625
Náklady po 10 letech (bez poruch) [Kč]	306 885
Náklady po 20 letech (bez poruch) [Kč]	447 488

Spolupráce vybraných zdrojů tepla s otopnou soustavou

Provoz tepelného čerpadla (spolu se špičkovým zdrojem v případě nezatepleného stavu) není jednoduchá záležitost. Každý výrobce tepelných čerpadel udává v technickém listu mimo jiné také pracovní podmínky, za kterých může být zdroj provozován. Tyto podmínky postihují (co se otopné soustavy týče) topné médium, jeho mezní teploty a tlaky, rozsah teplot vzduchu coby zdroje tepla a způsob zapojení do otopné soustavy.

Topné médium

Tepelné čerpadlo PZP řady AWX ECONOMIC je určeno k přímé instalaci do venkovního prostředí. S tím souvisí také nutnost přivedení topného média do venkovního prostředí a možné riziko jeho zamrznutí při delší odstavce tepelného čerpadla z provozu nebo delším výpadku elektrického napájení při venkovních teplotách pod bodem mrazu. Při instalaci tohoto tepelného čerpadla tedy musí být provedena dostupná opatření k zabránění zamrznutí topného média.

Topné médium může být nekorozivní voda bez mechanických nečistot nebo nemrznoucí kapaliny na bázi etylenglykolu, monoethylenglykolu, či propylenglykolu. Koncentrace nemrznoucí kapaliny se musí namíchat podle okolních podmínek. Jinou látku lze použít po konzultaci s výrobcem. Pracovní přetlak v okruhu média by se měl pohybovat od 30kPa do 600kPa a nejvyšší pracovní teplota média, vstupujícího do tepelného čerpadla by neměla přesáhnout 58°C. [18]

Pracovní podmínky prostředí

Prostředí je zdrojem tepla pro tepelné čerpadlo. V případě voleného čerpadla, je zdrojem okolní vzduch. Platí, že vlastní tepelné čerpadlo by mělo stát na místě nechráněném proti povětrnostním vlivům, v prostředí kde nehrozí výbuch hořlavých plynů a par. Minimální teplota vzduchu by neměla klesnout pod -18°C při výstupní teplotě vody 40°C a maximální teplota vzduchu by neměla překročit 35°C . [18]

Akumulace soustavy

Akumulační schopnost soustavy je pro optimální provoz jakéhokoliv tepelného zdroje klíčová. Důvodem je zrovnoměnění chodu, protože zdroj nemusí tolik cyklovat (=start/stop) a striktně kopírovat tepelnou potřebu. Akumulace tedy slouží jako jakási „převodovka“ mezi zdrojem tepla a otopnými tělesy. Akumulace je realizována buďto samotnou náplní otopné soustavy, nebo akumulací nádobou.

Zvolené tepelné čerpadlo je vhodné zapojit do systému přes akumulaci nádrží. Ta bude oddělovat průtok tepelným čerpadlem a průtok otopnou soustavou, takže se docílí konstantní průtok tepelným čerpadlem a tím i konstantní ohřátí topné vody. Správně dimenzovaná akumulací nádrž obsahuje dostatečné množství topné vody pro odtávání výparníku reverzačního chladicího okruhu, a jak již bylo řečeno, také zamezuje cyklování provozu při nepříznivých podmínkách aktuální potřeby tepla pro vytápěný objekt.

Výpočet aktivního objemu topné vody ve vytápěcím systému se spočítá následovně[18]:

$$V_a = k \cdot Q_z$$

Kde:

V_aaktivní objem vody ve vytápěcím systému [litry]

kkonstanta výrobce (minimálně 15) [-]

Q_zjmenovitý topný výkon tepelného čerpadla při A2/W35 [kW]

Pro zvolený případ tepelného čerpadla PZP AWX10 ECONOMIC je při teplotě vzduchu 2°C a teplotě vody 35°C (=A2/W35) naměřen tepelný výkon 11kW. Minimální aktivní objem tedy bude:

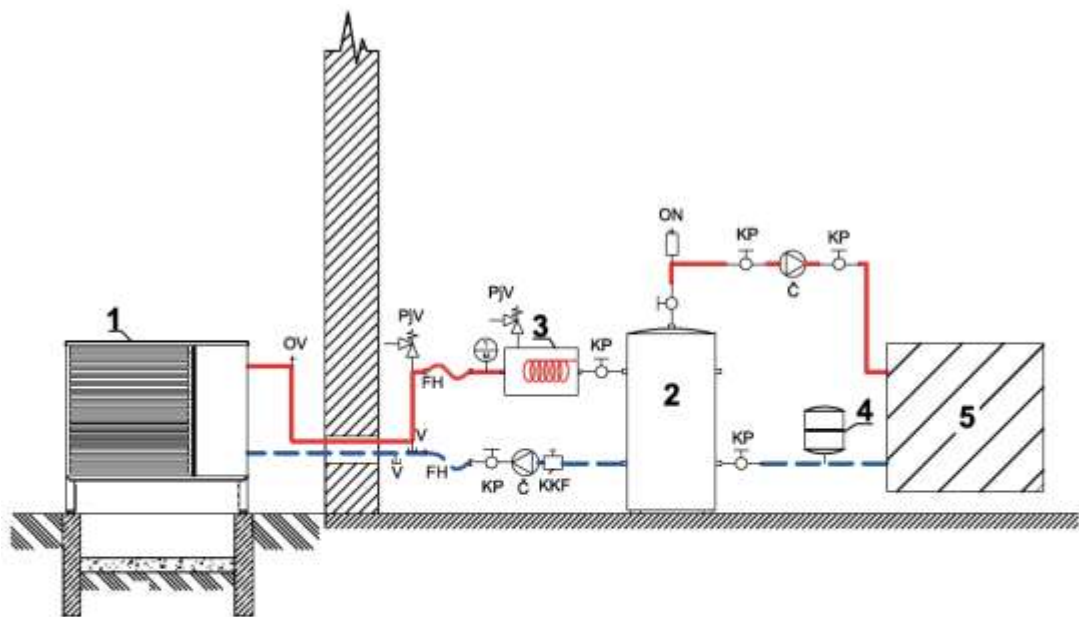
$$V_a = k \cdot Q_z = 15 \cdot 11 = 165 \text{ litrů}$$

Zvolené tepelné čerpadlo může být za určitých podmínek připojeno přímo k otopné soustavě bez použití akumulční nádrže. Otopná soustava ale musí bezpodmínečně zajistit požadavek minimálního aktivního objemu topné vody vypočteného výše. Navíc musí vyhovět minimálnímu konstantnímu průtoku bez jakéhokoliv omezení. V případě otopné soustavy, který disponuje více topnými okruhy, je nutné použít akumulční nádrž, aby došlo k hydraulickému oddělení jednotlivých okruhů. [18]

Na základě výše uvedeného byl zvolen systém s akumulční nádobou, do které bude topit také v případě nezatepleného stavu kotel.

Zapojení do otopné soustavy

V otázce propojení jednotlivých komponent a zapojení do otopné soustavy je žádoucí respektovat doporučení výrobce (výrobců). Konkrétní zapojení komponent, sloužících pouze pro otop, vypadá podle výrobce následovně:



LEGENDA ZAŘÍZENÍ :

- 1 - TEPELNÉ ČERPADLO HP AWX
- 2 - AKUMULAČNÍ NÁDOBA
- 3 - ELEKTROKOTEL
- 4 - EXPANZNÍ NÁDOBA
- 5 - OTOPNÁ SOUSTAVA

LEGENDA POUŽITÝCH KOMPONENT :

- Č - ČERPADLO
- FH - FLEXIHADICE
- KKF - KOHOUT KULOVÝ S FILTREM
- KP - KOHOUT PŘÍMÝ
- ON - ODVZDUŠŇOVACÍ NÁDOBA
- OV - ODVZDUŠŇOVACÍ VENTIL
- PJV - POJISTNÝ VENTIL
- T/M - TERMOANOMETR
- V - VYPOUŠTĚCÍ KOHOUT

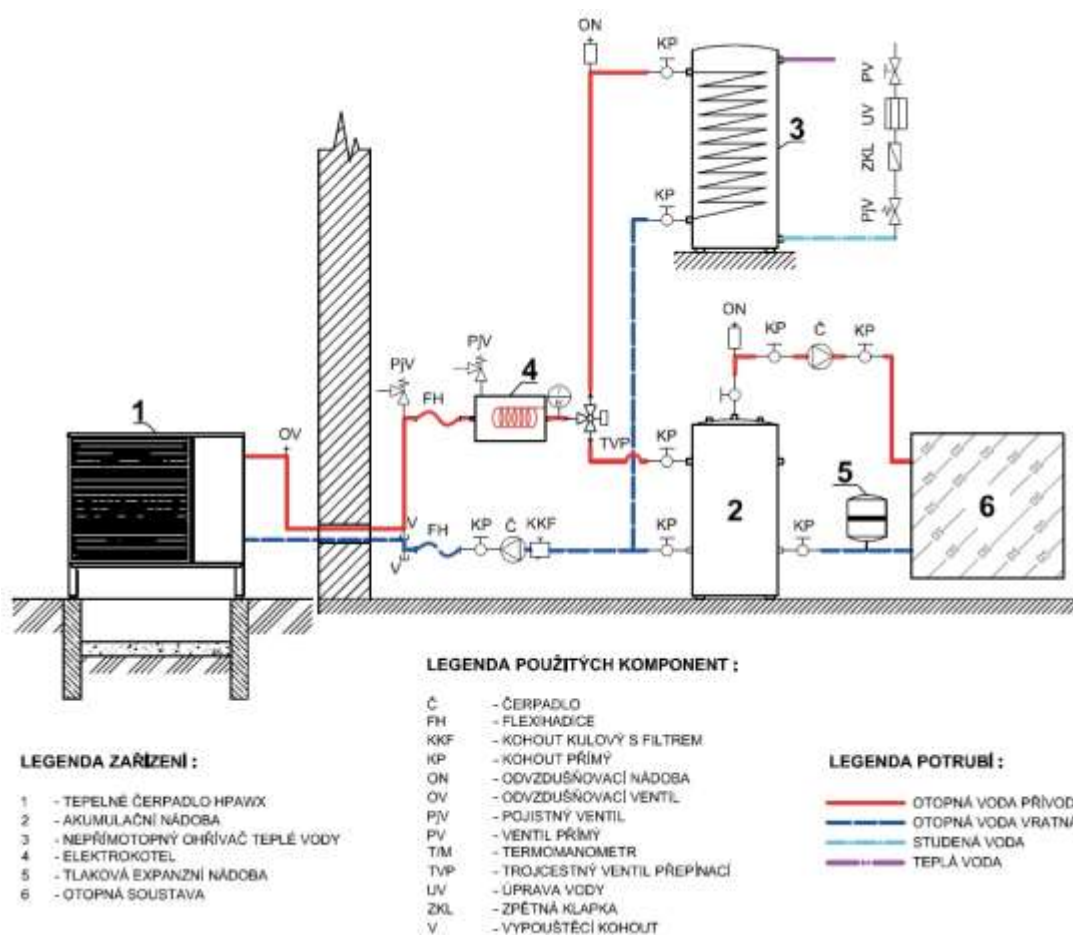
LEGENDA POTRUBÍ :

- OTOPNÁ VODA PŘÍVOD
- OTOPNÁ VODA VRATNÁ

Obr.55: Zapojení komponent pro otop[18]

V případě nezatepleného stavu nebude potřeba elektrokotle, neboť do akumulční nádoby bude topit pod teplotou bivalentního bodu kotel. V případě zatepleného stavu bude sice tepelné čerpadlo pracovat v monovalentním provozu, ale zapojení elektrokotle stojí za úvahu. Může se totiž stát, že během otopné sezóny klesne na krátkou dobu teplota i pod návrhovou teplotu, kde výkon tepelného čerpadla nebude stačit.

I když se tato práce nezaměřuje na přípravu teplé užitkové vody, stojí za to zvážit i tuto možnost, neboť rozdíl mezi investicemi nebude tak propastný a přínos za přípravu teplé užitkové vody bude velký. Navíc oproti otopu bude potřeba, kromě potřebných armatur a většího množství úkonů při realizaci propojení, pouze výkonnější tepelné čerpadlo a nepřímotopný ohřívač vody. To nepředstavuje tolik nákladů, jako náklady na konvenční ohřev vody realizovaný bojler. Zapojení komponent, sloužících pro otop a přípravu teplé užitkové vody, vypadá následovně:



Obr.56: Zapojení komponent pro otop a přípravu teplé užitkové vody [18]

Ekonomické zhodnocení

Pro celkové zhodnocení investice je třeba nejprve zjistit, kolik bude celková investice přibližně stát. Poté je zapotřebí zjistit náklady na otop stávajícího zdroje a porovnat je s náklady navrhovaných zdrojů. Po provedení tohoto bude možno určit různé ekonomické ukazatele (prostou dobu návratnosti, diskontovanou dobu návratnosti a čistou současnou hodnotu).

Cena investice

Cena investice bude rozdílná pro nezateplený a zateplený stav. To je dáno rozdílnými komponenty otopné soustavy a v případě nezatepleného stavu také zvětšením otopné plochy. Předpokládané ceny investice budou následující:

Tab.21: Odhadované pořizovací náklady

Komponenty	Odhadovaná cena komponent pro nezateplený stav [tis Kč]	Odhadovaná cena komponent pro zateplený stav [tis Kč]
Zvětšení otopné plochy	15	-
Kotel	24	-
Tepelné čerpadlo + regulace	171	171
Akumulační nádrž s izolací	10	10
Propojovací komponenty	5	5
Instalace + uvedení do provozu	25	25
Celkem	250	211
Celkem s dotací	122,5	83,5

Původní náklady na vytápění

Původní náklady na vytápění byly vyčísleny pro stávající, starý kotel na uhlí s ručním přikládáním. Pro takový kotel lze odhadnout účinnost nanejvýš 75%. Pak lze stanovit ze znalosti tepelné potřeby pro nezateplený a zateplený stav také spotřebu paliva a tedy cenu za otop za jednotlivé roky.

$$C_{otopu} = \frac{Q_{celk}}{\eta_K} \cdot C_{pal}$$

Kde:

Q_{celk}celková potřeba tepla za rok [kWh/rok]

η_Kúčinnost kotle [-]

C_{pal}proměnná cena paliva [Kč/kWh]

C_{otopu}cena otopu [Kč/rok]

Pro průměrně chladnou zimu z meteorologického modelu, pro spotřebu tepla téměř 41 MWh/rok pro nezateplený stav a téměř 17,5 MWh/rok pro zateplený stav, vypadají odhadované náklady na otop přibližně následovně (náklady reflektují také odhadované zdražení vstupů a cenu za dovoz paliva):

Tab.22: Náklady na otop původního zařízení

rok	Nezateplený stav [Kč]	Zateplený stav [Kč]
2016	39002	16583
2017	42102	17901
2018	45203	19219
2019	48304	20537
2020	51404	21856
2021	54505	23174
2022	57605	24492
2023	60706	25811
2024	63807	27129
2025	66907	28447

Náklady na vytápění navrhovaných zdrojů

Nové náklady na vytápění vycházejí z kapitoly o výhodném provozu zařízení. Tyto náklady zahrnují pouze cenu za vstupy (tj. palivo + elektřina).

Tab.23: Náklady na otop navrhovaných zařízení

rok	Nezateplený stav [Kč]	Zateplený stav [Kč]
2016	36466	13274
2017	36961	13325
2018	37456	13376
2019	37952	13427
2020	38447	13477
2021	38942	13528
2022	39437	13579
2023	39932	13629
2024	40428	13680
2025	41418	13781

Cash flow

Výraz cash flow znamená peněžní tok, tj. výdej nebo příjem finančních prostředků za určité období. Každá investice by měla vykazovat nějaký příjem, čili kladné cash flow. V řešeném případě bude cash flow dáno rozdílem nákladů starého a nového systému, přínosem z rozdílného tarifu pro elektřinu a ušetřenou práci s palivy.

Nejprve tedy kumulovaný rozdíl nákladů plynoucích ze vstupů obou systémů:

Tab.24: Kumulované cash flow z rozdílu nákladů na vstupy starého systému a nového

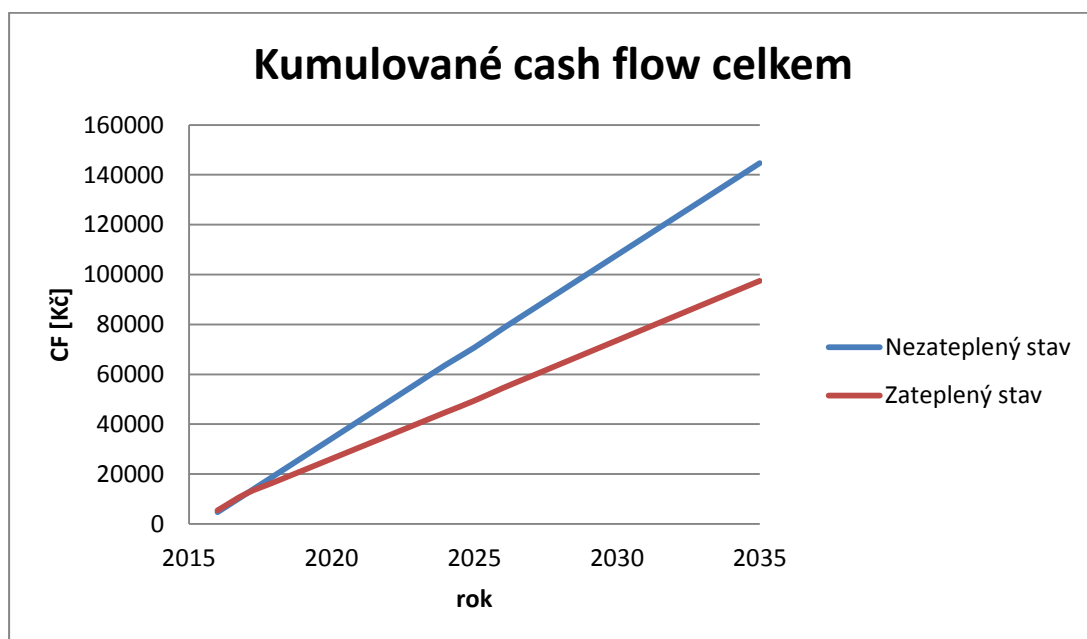
Kumulované CF z rozdílu nákladů otopu		
rok	CF nezateplený stav [Kč]	CF zateplený stav [Kč]
2016	2536	3308
2017	7677	7884
2018	12888	10419
2019	18099	12955
2020	23310	15490
2021	28521	18025
2022	33731	20561
2023	38942	23096
2024	44153	25631
2025	48869	28116

Dále kumulované cash flow zapříčiněné změnou tarifu za elektřinu podle kapitoly o úsporách tarifem:

Tab.25: Kumulované cash flow z rozdílu ceny elektřiny

Kumulované CF z ušetřených nákladů na elektřinu		
rok	CF nezateplený stav [Kč]	CF zateplený stav [Kč]
2016	2186	2131
2017	4372	4262
2018	6559	6393
2019	8745	8524
2020	10931	10655
2021	13117	12787
2022	15304	14918
2023	17490	17049
2024	19676	19180
2025	21862	21311

Celkové kumulované finanční toky plynoucí z rozdílu cen vstupů a z rozdílného tarifu za elektřinu, tedy přínosy celkem bez uvažování ušetřené práce jsou součtem obou předešlých tabulek:



Obr.57: Kumulované CF celkem (bez uvažování vlastní práce)

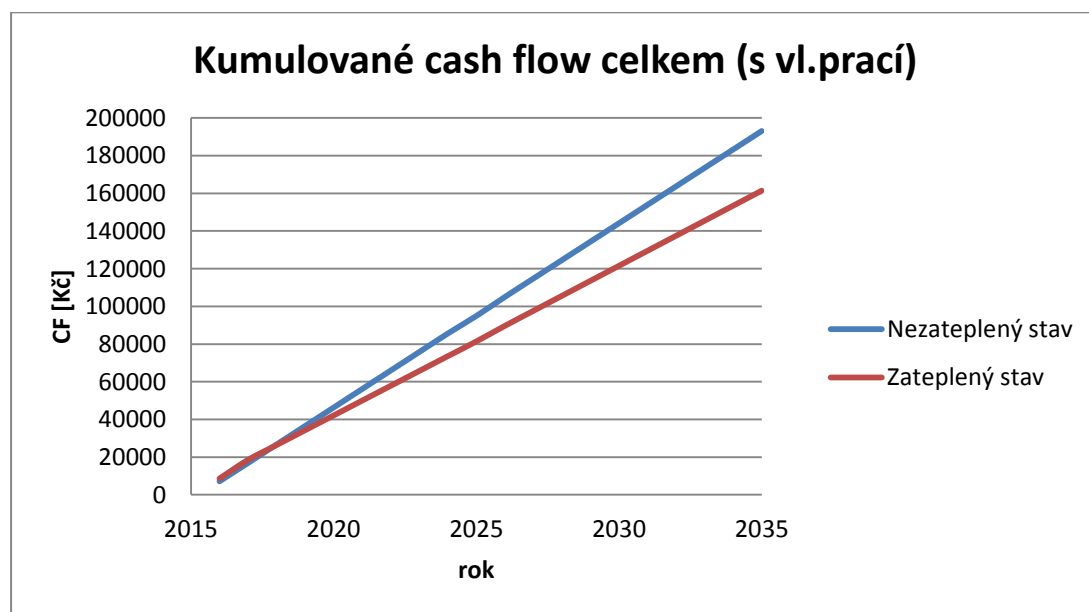
Cash flow plynoucí z ušetřené práce si každý musí vyhodnotit sám. Například v případě kotle na uhlí roztápeného dřevem se jedná o úkony se dřevem a uhlím. U kusového palivového dřeva se může se jednat o dovoz paliva, uskladnění, seřezání a naštípání po vyschnutí, převoz do kotelny a v případě uhlí zase příkládání v intervalech odpovídajícím tepelné spotřebě domácnosti.

Největší podíl na vlastní práci nese příkládání. Pokud by se šlo během dne třikrát přiložit a tento úkon by zabral pět minut, pak bychom během 250 dní otopné sezóny strávili cca 62,5h pouze příkládáním. Je na každém, na kolik si tento čas považuje. Navíc je třeba si uvědomit, že i v případě inovovaného nezatepleného stavu bude zapotřebí palivo. Konkrétně bude zapotřebí cca 28% paliva oproti původnímu nezateplenému stavu.

Po těchto úvahách byly stanoveny finální finanční toky, které uvažují i práci s palivy.

Tab.26: Celkové kumulované cash flow s uvažováním vlastní práce

Kumulované cash flow CELKEM (s vl.práci)		
rok	CF nezateplený	CF zateplený
2016	7141	8636
2017	16888	18540
2018	26704	26403
2019	36521	34266
2020	46337	42129
2021	56153	49992
2022	65969	57855
2023	75786	65718
2024	85602	73581
2025	94923	81393



Obr.58: Kumulované CF celkem (s uvažováním vlastní práce)

Ekonomická zhodnocení

Z určeného cash flow lze vcelku jednoduše porovnáním s investičními náklady predikovat prostou dobu návratnosti (TN_p) a čistou současnou hodnotu projektu (ČSH). Zde prezentované ukazatele počítají s obdržením dotace. Ostatní výsledky jsou v elektronické příloze.

Prostá doba návratnosti

Prostá návratnost je doba, za kterou se nám investice vrátí. Tato doba je pochopitelně informací, která zajímá každého investora, **bez ohledu na výši investovaných peněžních prostředků**. Kromě ostatních metod analýzy investic (diskontovaná doba návratnosti, čistá současná hodnota, vnitřní výnosové procento...), je doba návratnosti důležitým porovnávacím kritériem investice. Nevýhodou tohoto kritéria je **zanedbání efektů po době návratnosti** a zanedbává fakt, že peníze můžeme vložit do jiných investičních příležitostí. Standardně se prostá doba návratnosti počítá dle tohoto vzorce:

$$TN_p = \frac{IN}{CF}$$

Kde:

TN_p prostá návratnost [roky]

IN jednorázové investiční náklady na realizaci úspor [Kč]

CF roční peněžní toky (úspora nákladů v důsledku investice) [Kč/rok]

Pro nezateplený stav je prostá návratnost následující:

$$TN_p = \frac{122500}{9654,1} = 12,7[\text{roků}]$$

Pro zateplený stav je prostá návratnost následující:

$$TN_p = \frac{83500}{8001,2} = 10,4[\text{roků}]$$

Čistá současná hodnota

Čistá současná hodnota je ukazatel, který **počítá s budoucími peněžními toky** (tj. diskontovaným cash flow). Říká, kolik peněz za zvolenou dobu životnosti projektu daný projekt přinese nebo spolyká. To je údaj, který **z doby návratnosti nelze zjistit**. U peněžních toků může navíc **zohlednit jejich hodnotu v čase**. Proto se u ČSH budoucí peněžní toky tzv. diskontují, neboli se adekvátně poníží o diskont. Diskontní míra je hodně ovlivněna kvalifikovaným odhadem i tím, jak lze zhodnotit své peníze. Diskont by měl být vždy vyšší než úroková sazba na spořicí účet v bance nebo úrok u státních pokladničních poukázek. Ty lze totiž víceméně považovat za bezrizikový finanční instrument, což o libovolném projektu říci nelze.

Největším rizikem pro „domácí“ investici je inflace. Průměrná míra inflace se delší dobu drží pod 2%. Na tomto základě volím diskontní faktor 3%.

$$\check{C}SH = \sum_{t=0}^t \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

Kde:

CF_t roční peněžní toky (úspora nákladů v důsledku investice) [Kč/rok]

r diskontní faktor [-]

t rok, ke kterému se cash flow počítá [-]

Pro nezateplený stav vychází čistá současná hodnota po dobu životnosti následovně:

$$\check{C}SH = -IN + \sum_{t=1}^{20} \frac{9654,3}{(1+0,03)^t} = -122\,500 + 143\,631 = 21\,131 \text{ Kč}$$

Pro zateplený stav vychází čistá současná hodnota po dobu životnosti následovně:

$$\check{C}SH = -IN + \sum_{t=1}^{20} \frac{8001,2}{(1+0,03)^t} = -83\,500 + 119\,037 = 35\,537 \text{ Kč}$$

Ekonomické srovnání zateplení a výměny zdroje tepla

Tato kapitola bude odkazovat na data z mé bakalářské práce a bude zajímavým srovnáním dvou možných přístupů, jak snížit tepelnou spotřebu (tj, zateplení a nový zdroj/zdroje tepla). Protože v obou případech bylo možné využít státní dotace, pak bude porovnán ekonomický efekt zateplení bez dotace a s dotací a ekonomický efekt instalace nových zdrojů tepla pro zateplený a nezateplený stav také s dotací a bez dotace.

Podmínky výpočtu pro zmíněné zdroje tepla jsou známy, varianty v nezatepleném stavu i zatepleném stavu budou navíc porovnány s dotací i bez dotace. Podmínky pro ekonomický výpočet zateplení jsou převzaty z bakalářské práce. Jedná se o cenu zateplení, podíl ušetřeného tepla, diskontní míru a dobu životnosti. Z těchto informací lze stanovit stejné ekonomické ukazatele, jako v případě nových zdrojů tepla.

Srovnání veškerých kombinací, které přichází v úvahu, shrnuje následující tabulka:

Tab.27: Celkové ekonomické srovnání variant tepelného čerpadla a zateplení

Opatření	TČ + dotace, nezateplený stav	TČ + dotace, zateplený stav	TČ - dotace, nezateplený stav	TČ - dotace, zateplený stav	Zateplení + dotace	Zateplení - dotace	TČ +dotace, Zateplení + dotace	TČ - dotace, Zateplení - dotace
celková investice [Kč]	250000	211000	250000	211000	258200	258200	469200	469200
dotace [Kč]	127500	127500	0	0	90370	0	217870	0
koncová cena [Kč]	122500	83500	250000	211000	167830	258200	251330	469200
diskontní faktor [-]	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
TNp [roky]	12,69	10,44	25,90	26,37	6,96	9,8	7,55	12,73
ČSH po 20 letech [Kč]	21131	35537	-106369	-91963	341412	251042	376949	159079

Možnosti financování

Financovat renovace v otopné soustavě lze pomocí vlastních zdrojů, využitím bankovních produktů, nebo částečně pomocí dotačního programu MŽP tzv. „kotlíkové dotace“.

Využití bank

Banky i nebankovní společnosti nabízejí řadu možností financování. Existuje řada spotřebitelských úvěrů, hypoték, překlenovacích úvěrů ze stavebního spoření, revolvingové úvěry typu kontokorent či kreditní karta... Rozhodující při výběru konkrétního typu produktu bude především potřebná částka, nicméně za zvážení stojí účel úvěru, délka splácení, výše splátek, časová náročnost splácení, RPSN, zda se ručí nemovitostí a jiné.

Banky mají v současnosti přebytek finančních zdrojů a tak zareagovaly snížením úrokových sazeb u hypoték i rozšiřováním nabídek různých druhů účelových půjček a jiných produktů. Na menší úpravy obvykle postačí spotřebitelský úvěr, jehož úroková sazba nebývá tak výhodná, jako u účelové půjčky. Účelové půjčky jsou většinou výhodnější, ale většinou si je možné vzít až od nějaké sumy, která bývá vyšší než u spotřebitelských úvěrů. Na finančně náročnější projekty se vyplatí úvěr od stavební spořitelny. Ten, kdo zatím spoření nemá, může problém řešit překlenovacím úvěrem. Úvěr ze stavebního spoření je možné kdykoliv bez poplatku splatit, což je u hypotéky možné pouze v době změny fixace nebo se sjednanou službou mimořádné splátky. V případě úvěru ze stavebního spoření není navíc nutná zástava nemovitostí, na rozdíl od hypotéky. Tu lze na druhou stranu použít i na vysoké částky. Srovnání jednotlivých úvěrů od jednotlivých bank na českém trhu je v příloze 6. [19]

Využití státního programu

Informace v této kapitole byly, mimo uvedených literárních zdrojů, zjištěny na informační schůzi MŽP, která se odehrála v kulturním domě města Soběslavi dne 14. prosince 2016. Na podzim roku 2015 byl schválen v rámci operačního programu Životní prostředí projekt tzv. kotlíkové dotace. Jedná se o finanční podporu na výměnu zdrojů tepla na pevná paliva s ručním příkládáním v rodinných domech. Podporu je možno poskytnout i v případě, že je rodinný dům vytápěn dvěma zdroji,

z nichž jeden naplňuje podmínky přijatelnosti programu. Tato podpora bude poskytována prostřednictvím projektu kraje, který je příjemcem evropské dotace z operačního programu Životní prostředí až do roku 2020. V zájmu kraje je finanční prostředky dále přidělovat fyzickým osobám za účelem dosažení pozitivního přínosu pro životní prostředí. Celkem bylo na výměnu kotlů v rámci operačního programu vyčleněno 9 mld. Kč, které se rozdělí do jednotlivých krajů celkem ve třech fázích (výzvách) tedy po 3 mld. Tyto finance budou rozděleny mezi jednotlivé kraje, které si stanovují podobné podmínky pro jejich vyplácení. Tyto podmínky upravuje vždy výzva daného kraje.

Základní podmínky výzvy pro jihočeský kraj

Znovuzahájení a ukončení příjmu žádostí záleží na vyhlášení druhé výzvy kotlíkové dotace (předpokládá se nejdříve podzim 2016). Podpora je určena výhradně na výměnu zdrojů tepla na pevná paliva s ručním přikládáním za:

- Tepelné čerpadlo
- Plynový kondenzační kotel
- Kotel na pevná paliva

Tyto zdroje lze kombinovat s instalací solárních soustav, nebo tzv. „mikroenergetickými“ opatřeními (obojí nelze samostatně, ale pouze s výměnou zdroje tepla pro vytápění). Seznam podporovaných výrobků pro kotlíkovou dotaci je neustále obnovován a je k vidění na webu:

http://kotlikovedotace.kraj-jihocesky.cz/?p=p_6

Podporu je možno poskytnout v rodinných domech, kde [20]:

- bude současně provedeno alespoň jedno tzv. „mikroenergetické“ opatření vedoucí ke snížené energetické náročnosti rodinného domu, nebo
- v rodinných domech, kde došlo ke snížené energetické náročnosti v minulosti (splnění klasifikační třídy energetické náročnosti budovy minimálně „C“), **nebo**
- je současně na realizaci opatření vedoucích ke snížení energetické náročnosti budovy žádáno/vydáno rozhodnutí o poskytnutí dotace v programu Nová zelená úsporám.

Není tedy nutné splňovat třídu energetické náročnosti budovy minimálně „C“. Pokud rodinný dům tuto podmínku nesplňuje a zároveň nesplňuje ani podmínku žádání/vydání poskytnutí dotace v programu Nová zelené úsporám, pak je potřeba realizovat tzv. „mikroenergetické“ opatření:

Tab.28: Mikroenergetická opatření [20]

Typ opatření
Zateplení střechy nebo půdních prostor
Zateplení stropu sklepních prostor nebo podlahy
Dílčí zateplení konstrukcí (např.severní fasáda apod.)
Oprava fasády, např. prasklin a dalších poruch fasády – eliminace tepelných mostů
Oddělení vytápěného prostoru rodinného domu od venkovního (např. zádveří)
Dílčí výměna oken
Výměna vstupních a balkonových dveří
Instalace těsnění oken, dodatečná montáž prahů vstupních dveří
Výměna zasklení starších oken za izolační dvojskla

Nejvhodnější „mikroenergetické“ opatření (je-li potřeba) doporučí energetický specialista definovaný zákonem č.406/2000Sb., o hospodaření s energií. Tento specialista musí mít relevantní oprávnění. Bude požadováno oprávnění k energetickému auditu nebo k energetické certifikaci budov. Mikroenergetické opatření je možné hradit z dotace, avšak do maximální výše 20 tis Kč (zbytek hradí žadatel plně ze svých zdrojů). Stejně tak je možné hradit služby energetického specialisty. Ty by neměly ale přesáhnout 5 tis Kč.[20] Seznam energetických specialistů je k vidění na webu:

http://kotlikovedotace.kraj-jihocesky.cz/?p=p_5

Výše podpory

Výše podpory se odvíjí od zvoleného zdroje tepla a obce, ve které bude projekt realizován:

- 70 % způsobilých výdajů v případě realizace kotle spalujícího pouze uhlí
- 75 % způsobilých výdajů v případě realizace kombinovaného kotle (uhlí + biomasa) nebo plynového kondenzačního kotle
- 80 % způsobilých výdajů v případě, že jde o realizaci tepelného čerpadla nebo kotle pouze na biomasu

Dále existuje seznam obcí, označených jako prioritní, kde bude výše podpory navýšena ještě o 5%. [20] Seznam takovýchto obcí je na webu:

http://kotlikovedotace.kraj-jihocesky.cz/?p=p_3

Způsobilé náklady

Způsobilé náklady jsou náklady uznatelné pro poskytnutí podpory. Jejich maximální výše je stanovena na 150 tis. Kč. To znamená, že maximální výše dotace by dosáhla v případě prioritní obce až na výši 85% ze 150 tis. Kč, tj. 127,5 tis. Kč. Uznatelné náklady na „mikroenergetická“ opatření mohou z částky 150 tis. tvořit maximálně 20 tis. Kč. Příslušnou zbývající částku doplatí žadatel. Za způsobilé náklady jsou považovány tyto [20]:

- Náklady na **stavební práce, dodávky a služby bezprostředně související s předmětem podpory**, tj. pořízením nového zdroje vytápění a realizaci „mikroenergetického“ opatření.
- Náklady na **pořízení průkazu energetické náročnosti budovy**, pouze v případě, že je prokazována úroveň klasifikační třídy energetické náročnosti budovy minimálně „C“.
- Služby **energetického specialisty** související s potvrzením vhodnosti navrhovaného řešení („mikroenergetického“ opatření).
- Náklady na projektovou dokumentaci (tu není třeba pořizovat).
- Výměny zdrojů tepla lze uznat za **způsobilé již od 15. 7. 2015** (rozhodující je datum uskutečnění zdanitelného plnění na účetním dokladu).
- „Mikro“ energetická opatření lze po odsouhlasení energetickým specialistou provést ve vlastní režii, způsobilé jsou pak jen **doklady za nákup materiálu**.

Důležité připomínky [20]:

- Za způsobilou se považuje jen výměna kotle, který je (byl) v provozu.
- Pokud je již kotel odpojen a neexistuje fotografie připojeného kotle na otopnou soustavu, bude se jednat o nezpůsobilý výdaj.
- Pokud v průběhu realizace fyzická osoba nepředloží potvrzení o ekologické likvidaci, také se bude jednat o nezpůsobilý výdaj.
- Starý kotel je třeba ekologicky zlikvidovat a tuto skutečnost je nutné následně doložit.

Vzor dokladu o likvidaci kotle a názorná ilustrace správné fotodokumentace stávajícího kotle je na webu:

http://kotlikovedotace.kraj-jihocesky.cz/?p=p_3

Nezpůsobilé náklady

Nezpůsobilé náklady jsou náklady neuznatelné pro poskytnutí podpory. Jedná se o tyto výdaje [20]:

- Daně, s výjimkou DPH zahrnuté do ceny pořizovaného zařízení či služeb.
- Náklady na nákup věcí osobní potřeby, které nesouvisejí s realizací.
- Úhrada úvěrů a půjček.
- Penále a pokuty.
- Běžné provozní náklady (např. telefonní služby, energie, poplatky za připojení k síti, poštovné, balné, doprava, bankovní poplatky atp.).
- Náklady na právní spory.
- Výdaje související se zpracováním žádosti na výměnu zdroje tepla předložené žadatelem.
- Nelze si pořídit kotel a instalovat ho svépomocí (chybí záruka, zaškolení a instalace od odborné firmy).

Dokumenty k podání žádosti

Podání žádosti o podporu znamená spoustu byrokracie, která nekončí ani po realizaci projektu. Je potřeba dodat [20]:

- **Žádost o poskytnutí dotace**

V případě jihočeského kraje podle první výzvy elektronicky a do 10-ti dní písemně buď poštou, nebo osobně (nebo žadatelem plnou mocí oprávněnou osobou) na krajský úřad. Názorná ukázka, jak vyplnit žádost o kotlíkovou dotaci je na webu:

http://kotlikovedotace.kraj-jihocesky.cz/?p=p_4

- **Průkaz energetické náročnosti budovy (PENB)** – zpracovaný dle vyhlášky č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budovy, jehož prostřednictvím musí být prokázáno splnění požadavku na klasifikační třídu energetické náročnosti budovy minimálně „C“, je-li relevantní vzhledem ke zvolené podmínce. **Nebo**
- **Rozhodnutí o poskytnutí dotace nebo Žádost z programu Nová zelená úsporám prokazující realizaci** (i budoucí v případě žádosti) opatření vedoucích ke snížení energetické náročnosti budovy, je-li relevantní vzhledem ke zvolené podmínce. **Nebo**
- **Potvrzení energetického specialisty** o prověření vhodnosti realizace „mikro“ energetického opatření, je-li relevantní vzhledem ke zvolené podmínce.
- **Fotodokumentace stávajícího kotle** napojeného na otopnou soustavu a komínové těleso, uvedení jeho typu (odhořivací, prohořivací apod.), materiálu (ocel, litina) a jmenovitého výkonu vč. prohlášení o jeho funkčnosti a používaném/ých palivu/ech.

Jak má vypadat správně provedená fotodokumentace:

http://kotlikovedotace.kraj-jihocesky.cz/?p=p_3

- **Písemný souhlas spoluvlastníků** většinového podílu k realizaci nového zdroje tepla a dalších souvisejících opatření v rodinném domě v případě více spoluvlastníků rodinného domu.

- **Písemný souhlas spoluvlastníků** většinového podílu k bytové jednotce a rovněž k rodinnému domu k realizaci nového zdroje tepla a dalších souvisejících opatření v rodinném domě, a to v případě více spoluvlastníků bytové jednotky.
- **Písemný souhlas druhého z manželů** v případě vlastnictví rodinného domu/bytové jednotky nebo podílu na nich v rámci společného jmění manželů a písemný souhlas ostatních spoluvlastníků většinového podílu na předmětném rodinném domě k realizaci nového zdroje tepla a dalších souvisejících opatření v rodinném domě.
- **Písemný souhlas vlastníka pozemku** v případě, kdy vlastník nemovitosti je odlišný od vlastníka pozemku, na němž se rodinný dům nachází.
- Další přílohy definované krajem dle jeho individuálních potřeb, souvisejících s nastavením přidělování podpory – budou součástí vyhlášené výzvy.

Po realizaci projektu

Podpora bude vyplacena formou ex-post platby, tj. zpětně po předložení dokladů o úhradě všech způsobilých výdajů příjemcem podpory v rámci závěrečného vyúčtování dotace. Je třeba však dodat tyto náležitosti [20]:

- Závěrečnou zprávu obsahující stručný popis realizované akce a její finanční vyúčtování
- Kopie účetních dokladů k doložení celkových nákladů
- Fotodokumentaci odpojeného stávajícího kotle, z níž je patrné, že odpojený kotel je totožný s tím, který byl nafocen při podání žádosti
- Doklad o likvidaci starého zařízení ze sběrný případně sběrného dvoru
- Revizní zprávu o uvedení nového zařízení do provozu
- Fotodokumentaci instalace „mikro“ energetického opatření, z níž je patrný stav před provedením a po provedení opatření je-li provedeno, **nebo**:
- Doložit rozhodnutí o poskytnutí dotace z programu Nová zelená úsporám je-li relevantní

Legislativní změny

V prosinci 2015 schválila vláda návrh zákona, kterým se mění zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, a zákon č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, dále také souhrnně jako „novela zákona o ochraně ovzduší“. [21]

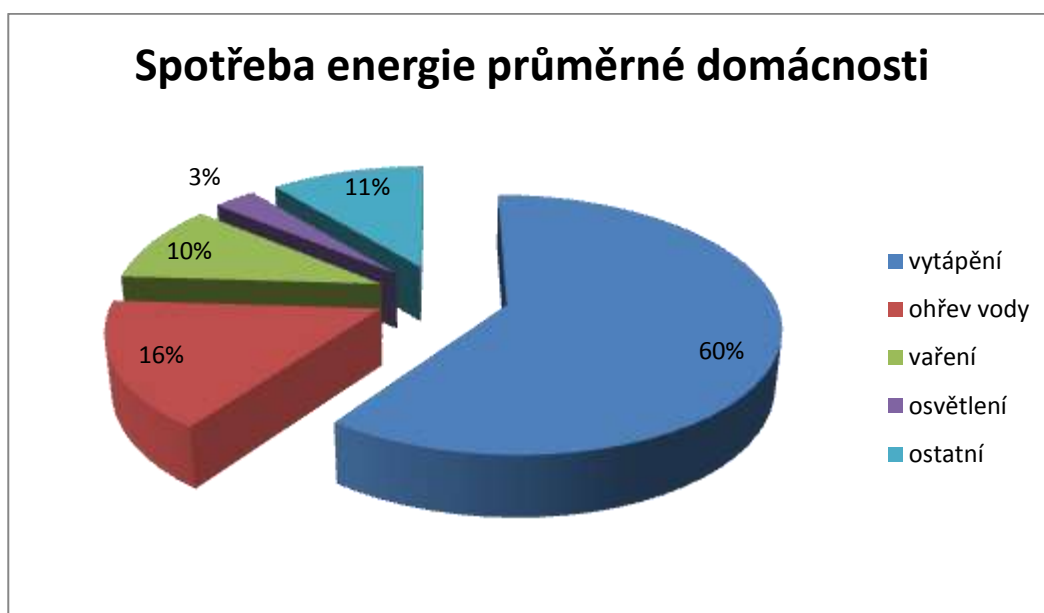
Největším průlomem v chápání legislativy je, že ústavní nedotknutelnost obydlí není neomezená. V případě, že dochází k ohrožování zdraví člověka, k čemuž při nesprávném spalování a spalování odpadů dochází, pak má ústavní právo na ochranu zdraví stejnou váhu. A přímo ústava umožňuje prolomení nedotknutelnosti obydlí s cílem zajistit zdraví lidí. Novela tedy zavádí povinnost provozovatelů spalovacích zdrojů v domácnostech umožnit osobám pověřeným obecním úřadem s rozšířenou působností přístup ke zdroji, k jeho příslušenství a používaným palivům. Podmínkou pro kontrolu je opakované podezření úřadu, že domácnost provozuje kotel v rozporu s povinnostmi stanovenými zákonem o ochraně ovzduší.

Zákon by měl především napravit situaci, kdy jeden nepřizpůsobivý občan je svým jednáním schopen zamořit rozsáhlé okolí. Každý kotel uváděný na trh musí projít zkušební a ta mu přidělí emisní třídu. Těch je pět a označení je opačné, než značkování ve škole. Emisní třída o kotli vypovídá, kolik produkuje emisí a jakou má přibližně účinnost. Nyní je zakázaný prodej kotlů první a druhé emisní třídy. A pravidla se budou dále zpřísnovat. Od 1. ledna 2018 bude zakázaný i prodej kotlů třetí emisní třídy a po 1. září 2022 nebude možné kotle první a druhé emisní třídy používat pod hrozbou pokuty 50. tis Kč. [22]

Lidé se musí také připravit na to, že budou mít od 1. ledna 2017 povinnost na základě požadavku obecního úřadu s rozšířenou působností předložit revizi kotle. Zde bude mimo jiné také označena emisní třída kotle. Pokud ji nepředloží, bude jim hrozit pokuta. Revize na plynové kotle jsou povinné již dnes. Novela zavádí změnu v tom, že revize jsou povinné nově i pro kotle na tuhá paliva. Odhadovaná cena za revizi je cca 1 500 Kč. Součástí revize by mělo být i seřízení kotle. Revize budou povinné jednou za dva roky. Novela také stanovuje sankce za nesplnění podmínek. Je třeba počítat s pokutou 20 tis. Kč za to, když majitel kotle nepředloží po 1. lednu 2017 revizi svého kotle a pokutou 50 tis. Kč od 1. září 2022, pokud se při revizi prokáže, že kotel nesplňuje parametry alespoň 3. třídy. A dále pokutou 50 tis. Kč za to, pokud bude v kotli používat paliva, která jsou zakázána (především odpady, uhelné kaly...). [23]

Závěr

Výběr rozumné technologie pro otop, či otop a přípravu teplé užitkové vody je pro každou domácnost zásadní energetickou otázkou. Zdroje tepla jsou totiž v porovnání s ostatními spotřebiči výkonné a během dne dlouhou dobu v provozu. Šetření společnosti Prosenia, publikované v roce 2014 v Technických novinách, ukazuje, že se jedná v **případě otopu a ohřevu teplé užitkové vody o více jak 3/4 celkové spotřeby energie.**



Obr.59: Spotřeba energie průměrné domácnosti podle společnosti Prosenia

Volba konkrétního tepelného zdroje (zdrojů) je především otázkou dostupnosti a ceny vstupů (tj. paliv a energií). Nikdo nemůže s jistotou tvrdit, že paliva, která jsou dostupná dnes (například uhlí), budou stejně tak dostupná (a kvalitní) i za delší časový horizont. To totiž záleží nejen na situaci v těžbařských společnostech, ale i na politické situaci a to jak uvnitř státu, tak i na mezinárodní úrovni. Pokud se jedná o cenu paliv, tak nejlépe lze predikovat vývoj tuhých paliv, jejichž cena vzrůstá téměř lineárně. Nejhůře se odhaduje vývoj cen zemního plynu a elektřiny, jakožto komodit, jejichž cena se skládá z více dílčích položek a podléhají tak i markantnějším a méně predikovatelným změnám ceny. Lze také říci, že **cena výroby elektřiny bude klesat, zatímco cena její distribuce bude stoupat.** To je ovlivněno náhradou některých klasických zdrojů elektřiny za obnovitelné. Důležitý faktor výběru paliva jsou také osobní preference. Například zda a kolik paliva lze uskladnit, kolik a jaká práce s palivy je zapotřebí...

Nejmodernějším způsobem vytápění (potažmo přípravy teplé užitkové vody) je tepelné čerpadlo. Největší výhodou tepelného čerpadla je skutečnost, že velikostí topného faktoru zhodnotí elektrickou energii do něj vloženou. Výhodou je tedy kromě ekologie provozu hlavně fakt, že každá **změna v ceně elektřiny se projeví podílem této ceny a topného faktoru** (oproti přímotopu).

V této práci byly řešeny dvě varianty provedení, a sice pro nezateplený rodinný dům a jeho verzi v zatepleném stavu.

Pro **nezateplený stav** jsou uvažovány dva tepelné zdroje. Třífázové tepelné čerpadlo vzduch – voda od společnosti PZP model AWX 10 ECONOMIC a zplyňovací kotel na kusové dřevo Dakon D15E. Provoz těchto zdrojů bude bivalentní alternativní s teplotou bivalence $-2,5^{\circ}\text{C}$. To odpovídá cca 204 dnům, kdy bude topit tepelné čerpadlo pod bodem bivalence a 46 dnům, kdy bude topit kotel. Podíl celkové energie dodané do systému tepelným čerpadlem pro tento provoz je cca 72%, zbytek pokryje kotel. Na jeho provoz přitom během průměrné zimy padnou cca 4 rovnané m^3 suchého dřeva. Tímto se tedy ušetří i pracnost s palivem.

Společný provoz zvolených zdrojů vyžaduje správnou regulaci. Regulace tepelného čerpadla kontroluje teplotu otopné vody (hlavní regulační bod) ve spodní části akumulární nádoby a vyhodnocuje potřebu provozu kompresoru tepelného čerpadla. Zatopí-li se v kotli na tuhá paliva, dojde k navýšení teploty v akumulární nádobě a tepelné čerpadlo se automaticky odstaví. V případě, kdy se vypne tepelné čerpadlo, by mohlo hrozit zamrznutí venkovních hydraulických částí. To je však ošetřeno. Ochrana před zámrzem venkovních hydraulických částí spočívá v neustálé kontrole teploty otopné vody. V okamžiku, kdy teplota vody klesne ve venkovní části pod určitou mez, sepne se oběhové čerpadlo tepelné čerpadlo a „protočí“ vodu mezi tepelným čerpadlem a akumulární nádobou. Není-li v akumulární nádobě dostatečně teplá voda, dojde ke startu kompresoru tepelného čerpadla a po nahřátí akumulární nádoby se tepelné čerpadlo opět odstaví. V krajním případě, v oblasti, kde dochází ke dlouhodobým výpadkům elektrické energie, je možné z tepelného čerpadla vyjmout kondenzátor a umístit ho do kotelny. Propojení tepelného čerpadla s kondenzátorem je následně provedeno chladivovým potrubím, což zamezí jakékoliv hrozbě zámru. Tato extrémní situace však v řešeném případě nehrozí.

Pro **zateplený stav** byl navržen jediný zdroj. Jedná se o třífázové tepelné čerpadlo vzduch – voda od společnosti PZP model AWX 10 ECONOMIC (stejně jako v nezatepleném stavu). Jeho provoz bude ale monovalentní. Výkon tepelného čerpadla ekonomicky pokryje bezpečně i ztráty při vnější návrhové teplotě, takže 100% celkové energie během otopné sezóny. Regulace tepelného čerpadla bude stejná, jako v případě nezatepleném. Největší hrozbou systému se zdrojem tepla v monovalentním provozu je porucha, neboť potom nelze krýt tepelnou ztrátu. Proto stojí za úvahu koupě sekundárního, lokálního zdroje tepla, například krbových kamen menšího výkonu.

Technické informace zvoleného tepelného čerpadla a zvoleného kotle jsou v přílohách 7 a 8.

Životnost tepelného čerpadla je závislá na životnosti kompresoru. Pokud bychom se drželi počtu motohodin uváděného výrobcem kompresorů, pak se **životnost zařízení předpokládá na 20 let**. Tato čísla vycházejí z předpokladu standardního využívání TČ, což u běžného rodinného domu odpovídá cca 2000 až 2500 motohodin ročně. Životnost správně provozovaného kotle se při jeho standardním využití pohybuje kolem 20 let. V případě, že se využívá jen částečně, se jeho životnost zvyšuje.

Největší nevýhodou tepelného čerpadla a jeho příslušenství (akumulační nádrž, armatury, regulace, popř. zde neuvažovaný elektrokotel a zásobník teplé užitkové vody) včetně zabudování do otopné soustavy jsou jeho pořizovací náklady. V případě nezatepleného stavu se jedná i o pořízení a zabudování kotle na tuhá paliva a zvětšení plochy otopné soustavy cca 1,5 krát oproti stávající ploše. Celkové odhadované pořizovací náklady **pro nezateplený stav vychází cca na 122,5 tisíc Kč**. Bez obdržené dotace 250 tisíc Kč. Celkové odhadované pořizovací náklady **pro zateplený stav (bez ceny zateplení) vychází cca na 83,5 tisíc Kč**. Bez obdržené dotace 211 tisíc Kč.

Provozní náklady tepelného čerpadla jsou naopak jeho velkou výhodou, protože, jak již bylo řečeno, **elektrická energie do něj vložená se zužitkuje násobkem topného faktoru**. Navíc tepelné čerpadlo má svůj **vlastní tarif** pro odběr elektřiny, kdy využívá 22h denně nízký tarif a tudíž je výhodnější. Odhadované kumulované provozní náklady za 20let, které reflektují predikci vývoje cen, vychází

v případě nezatepleného stavu pro tepelné čerpadlo cca 574 tisíc Kč a pro kotel cca 260 tisíc Kč. Celkem tedy cca **834 tisíc Kč**. Pro **zateplený stav** jsou odhadnuty kumulované provozní náklady stejným způsobem a vychází cca **276 tisíc Kč**.

Ekonomické zhodnocení bylo provedeno pomocí doby návratnosti a čisté současné hodnoty, která byla diskontována 3%. Tyto ukazatelé ekonomičnosti projektu byly stanoveny vůči stávajícímu kotli na tuhá paliva. To je důležité, neboť společnosti, prodávající tepelná čerpadla nebo realizující jejich instalaci často uvádí ekonomickou návratnost v porovnání s elektrokotlem a tím pádem vychází návratnost podstatně lépe. Pro **nezateplený stav** vyšla návratnost **12,7 let** a pro **zateplený stav 10,4 let**. Čistá současná hodnota projektu po 20 letech je pro nezateplený stav cca 22 tisíc Kč a pro zateplený cca 36 tisíc Kč. Tyto údaje počítají s obdržením dotace. Návratnost investice pro nezateplený stav vychází horší přibližně o dva roky (cena samotného zateplení není zahrnuta). To je dáno vyšší investicí pro nezateplený stav (kvůli potřebě dvou tepelných zdrojů a zvětšení otopné plochy). **Kdyby byly investice přibližně stejné, pak by se investice pro nezateplený stav vrátila dříve**, jelikož úspora větší části z tepelné potřeby znamená větší úsporu.

Ačkoliv zadáním této práce nebylo porovnat instalaci tepelného zdroje a zateplení domu, výsledky ekonomického šetření jsou zajímavé. Porovnání proběhlo v návaznosti na mou bakalářskou práci a ve všech možných kombinacích tj. s dotací, bez dotace, zateplený stav, nezateplený stav (zde se také uvažuje i cena zateplení).

Tab.29: Celkové ekonomické srovnání variant tepelného čerpadla a zateplení konkrétního rodinného domu

Opatření	TČ + dotace, nezateplený stav	TČ + dotace, zateplený stav	TČ - dotace, nezateplený stav	TČ - dotace, zateplený stav	Zateplení + dotace	Zateplení - dotace	TČ + dotace, Zateplení + dotace	TČ - dotace, Zateplení - dotace
celková investice [Kč]	250000	211000	250000	211000	258200	258200	469200	469200
dotace [Kč]	127500	127500	0	0	90370	0	217870	0
koncová cena [Kč]	122500	83500	250000	211000	167830	258200	251330	469200
diskontní faktor [-]	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
TNp [roky]	12,69	10,44	25,90	26,37	6,96	9,8	7,55	12,73
ČSH po 20 letech [Kč]	21131	35537	-106369	-91963	341412	251042	376949	159079

Ekonomickým šetřením bylo zjištěno, že **pořízení tepelného čerpadla bez dotace je ekonomicky nevýhodné**, protože má dlouhou dobu návratnosti. Způsobuje to poměrně malý ekonomický přínos spolu s velkou počáteční investicí. Pořízení nového zdroje totiž napomůže snížit náklady na otop **pouze rozdílem účinností zdrojů a cenou jejich vstupů**. **Zateplení** naproti tomu **disponuje větším ekonomickým přínosem**, jelikož v tomto konkrétním případě **sníží tepelnou potřebu o více jak polovinu** a hlavně jeho „provoz“ **nestojí nic**. Zároveň i čistá současná hodnota zateplení ať už s dotací, nebo bez ní, vychází mnohem lépe než čistá současná hodnota pořízení tepelného čerpadla. Návratnost investice pro pořízení tepelného čerpadla s dotací a zateplení bez dotace vychází i tak ve prospěch zateplení.

Na úplný závěr této práce bych se rád vrátil zpátky k úvodu. Stejně, jako každé lidské počínání, i využívání tepelných zdrojů znamená nakládání s energiemi. Pokud máme hospodárně a šetrně nakládat s primárními zdroji energie a myslet přitom také na své okolí, pak by měl být systém otopu hospodárný a ekologický. Nejtěžší je ovšem najít vhodný kompromis mezi těmito dvěma faktory. Nevhodně zvolený, nebo nevhodně provozovaný zdroj tepla totiž většinou přináší opak. Navíc může mít velice neblahý dopad na okolí v podobě zdravotních následků.

Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] MARTINEC, Jan. *Umění se vymáčkout* [online]. [cit.2016-05-20]. Dostupné z: <http://blog.segovesus.net/2014/05/37-martincuv-zakon-umeni-se-vymacknout.html>
- [2] JELÍNEK, Vladimír. *Parametry otopné soustavy v průběhu topného období* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/8177-parametry-otopne-soustavy-v-prubehu-topneho-obdobi>
- [3] DLOUHÝ, Tomáš. ČVUT. *Přednášky Teplárenství* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://energetika.cvut.cz/files/TEPp3.pdf>
- [4] VESELÝ, Eduard. *Tepelné čerpadlo v rodinném domě*. Praha, 2014. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Jiří Petrák.
- [5] DLOUHÝ, Tomáš. ČVUT. *Přednášky OZE* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://energetika.cvut.cz/?en_obnovitelne-zdroje-energie,131
- [6] *Enbra: Přehled možností zdrojů vytápění* [online]. Brno, c2011 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.jaktopit.cz/>
- [7] DLOUHÝ, Tomáš. ČVUT. *Přednášky Spalování a kotle* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://energetika.cvut.cz/?en_spalovani-a-kotle,109
- [8] DLOUHÝ, Tomáš. ČVUT. *Přednášky Výměníky tepla a kotle* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://energetika.cvut.cz/?en_vymeniky-tepla-a-kotle,66
- [9] FÍK, Josef. *Hořáky pro spalování zemního plynu (II)* [online]. 2004 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2170-horaky-pro-spalovani-zemniho-plynu-ii>
- [10] PETRÁK, Jiří a Miroslav PETRÁK. *Tepelná čerpadla*. Praha: České vysoké učení technické, Fakulta strojní, 2004. ISBN 80-010-3126-8.

- [11] KASTNER, Jiří, Vít VILÍMEK a Irena RYBOVÁ. *Mapy - příroda - životní prostředí: zeměpis pro základní školy a víceletá gymnázia*. Praha: Scientia, 1997. ISBN 80-718-3091-7.
- [12] *Joint Research Centre: Solar radiation and photovoltaic electricity potential* [online]. 2012 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmeps/eur_old.htm
- [13] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Tepelná čerpadla*. Brno: ERA, 2005. 21. století. ISBN 80-736-6031-8.
- [14] TINTĚRA, Ladislav. *Tepelná čerpadla*. Praha: ARCH, 2003. ISBN 80-861-6561-2.
- [15] NOVÝ, Richard. *Technika prostředí*. Vyd. 2., přeprac. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-010-3492-5.
- [16] BUFKA, Aleš. *Ceny pevných paliv pro domácnosti: studie pro Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR*. Praha, 2012. Dostupné také z: <http://www.mpo.cz/dokument83144.html>
- [17] *TZB-info: Ceny paliv a energií* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energi>
- [18] *Tepelná čerpadla vzduch-voda AWX ECONOMIC: Technické informace – projektový podklad* [online]. Dobré, 2014 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: [http://www.tepelna-cerpadla-pzp.cz/userfiles/download/\[76\]_PP-HPAWX-ECONOMIC_55_CS_lq.pdf](http://www.tepelna-cerpadla-pzp.cz/userfiles/download/[76]_PP-HPAWX-ECONOMIC_55_CS_lq.pdf)
- [19] *Bydlení dnes: mimořádný magazín MF Dnes o bydlení, zahradě a hobby*. Praha: MAFRA, 21. října 2015, č. 42.
- [20] MŽP. *Kotlíkové dotace*. České Budějovice, 2015. Dostupné také z: <http://kotlikovedotace.kraj-jihocesky.cz/files/Prezentace%20z%>

- [21] Vládní novela zákona o ochraně ovzduší. In: *Verlag Dashöfer* [online]. Praha: Verlag Dashöfer, 2015 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.enviprofi.cz/vladni-novela-zakona-o-ochrane-ovzdusi-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EjKd-BSj8sWfJnaqO2JTU0g/>
- [22] *Bydlení dnes: mimořádný magazín MF Dnes o bydlení, zahradě a hobby*. Praha: MAFRA, 23. dubna 2014, č. 16.
- [23] STUPAVSKÝ, Vladimír. *Novela zákona o ochraně ovzduší* [online]. 2013 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9515-novela-zakona-o-ochrane-ovzdusi>
- [24] *Tepelná čerpadla vzduch-voda REGULUS ECOAIR: Technické informace – projektový podklad* [online]. Praha, 2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://www.regulus.cz/?download=tech-listy/cz/tl_cz_techicky-list_ea410.pdf

Seznam příloh

Příloha 1:

Výkresová dokumentace obytné části objektu – příloha je na samostatném listě

Příloha 2:

Vnější návrhové teploty, otopná období a průměrná teplota za otopného období podle lokalit

Příloha 3:

Vnitřní návrhové teploty a doporučené relativní vlhkosti

Příloha 4:

Přehled vybraných vlastností chladiv

Příloha 5:

Body bivalence tepelných čerpadel PZP

Příloha 6:

Finanční produkty bank

Příloha 7:

Technický list zvoleného tepelného čerpadla - elektronicky

Příloha 8:

Technický list zvoleného kotle - elektronicky

Elektronická příloha:

Dílní výpočty – příloha na CD

Příloha 1:

Výkresová dokumentace obytné části objektu:

- příloha je na samostatném výkrese

Příloha 2:

Vnější návrhové teploty, otopná období a průměrná teplota za otopného období podle lokalit:

Lokalita (místo měření)	Nadmořská výška	Venkovní výpočtová teplota	Otopné období pro					
			$t_{em}=12\text{ °}$		$t_{em}=13\text{ °}$		$t_{em}=15\text{ °}$	
	h	t_e	t_{es}	d	t_{es}	d	t_{es}	d
	[m]	[°C]	[°C]	[dny]	[°C]	[dny]	[°C]	[dny]
Benešov	327	-15	3,5	234	3,9	245	5,2	280
Beroun (Králov Dvůr)	229	-12	3,7	225	4,1	236	5,3	268
Blansko (Dolní Lhota)	273	-15	3,3	229	3,7	241	5,1	275
Brno	227	-12v	3,6	222	4,0	232	5,1	263
Bruntál	546	-18v	2,7	255	3,3	271	4,8	315
Břeclav (Lednice)	159	-12	4,1	215	4,4	224	5,2	253
Česká Lípa	276	-15	3,3	232	3,8	245	5,1	282
České Budějovice	384	-15	3,4	232	3,8	244	5,1	279
Český Krumlov	489	-18v	3,1	243	3,5	254	4,6	288
Děčín (Březiny,Libverda)	141	-12	3,8	225	4,2	236	5,5	269
Domažlice	428	-15v	3,4	235	3,8	247	5,1	284
Frýdek-Místek	300	-15v	3,4	225	3,8	236	5,1	269
Havlíčkův Brod	422	-15v	2,8	239	3,3	253	4,9	294
Hodonín	162	-12	3,9	208	4,2	215	5,1	240
Hradec Králové	244	-12	3,4	229	3,9	242	5,2	279
Cheb	448	-15	3,0	246	3,6	262	5,2	306
Chomutov (Ervěnice)	330	-12v	3,7	223	4,1	233	5,2	264
Chrudim	276	-12v	3,6	225	4,1	238	5,9	276
Jablonec nad Nisou (Liberec)	502	-18v	3,1	241	3,6	256	5,1	298
Jičín (Libáň)	278	-15	3,5	223	3,9	234	5,2	268
Jihlava	516	-15	3,0	243	3,5	257	4,8	296
Jindřichův Hradec	478	-15	3,0	242	3,5	256	5,0	296

Lokalita (místo měření)	Nadmořská výška	Venkovní výpočtová teplota	Otopné období pro					
			$t_{em}=12\text{ °}$		$t_{em}=13\text{ °}$		$t_{em}=15\text{ °}$	
	h	t_e	t_{es}	d	t_{es}	d	t_{es}	d
	[m]	[°C]	[°C]	[dny]	[°C]	[dny]	[°C]	[dny]
Karlovy Vary	379	-15v	3,3	240	3,8	254	5,1	293
Karviná	230	-15	3,6	223	4,0	234	5,3	267
Kladno (Lány)	380	-15	4,0	243	4,5	258	5,0	300
Klatovy	409	-15v	3,4	235	3,9	248	5,2	286
Kolín	223	-12v	4,0	216	4,4	226	5,9	257
Kroměříž	207	-12	3,5	217	3,9	227	5,1	258
Kutná Hora (Kolín)	253	-12v	4,0	216	4,4	226	5,9	257
Liberec	357	-18	3,1	241	3,6	256	5,1	298
Litoměřice	171	-12v	3,7	222	4,1	232	5,2	263
Louny (Lenešice)	201	-12	3,7	219	4,1	229	5,2	260
Mělník	155	-12	3,7	219	4,1	229	5,3	261
Mladá Boleslav	230	-12	3,5	225	3,9	235	5,1	267
Most (Ervénice)	230	-12v	3,7	223	4,1	233	5,2	264
Náchod (Kleny)	344	-15	3,1	235	3,7	250	4,8	292
Nový Jičín	284	-15v	3,3	229	3,8	242	5,2	280
Nymburk (Poděbrady)	186	-12v	3,8	217	4,2	228	5,5	262
Olomouc	226	-15	3,4	221	3,8	231	5,0	262
Opava	258	-15	3,5	228	3,9	232	5,2	274
Ostrava	217	-15	3,6	219	4,0	229	5,2	260
Pardubice	223	-12v	3,7	224	4,1	234	5,2	265
Pelhřimov	499	-15v	3,0	241	3,6	257	5,1	300
Písek	348	-15	3,2	235	3,7	247	5,0	284
Plzeň	311	-12	3,3	233	3,6	242	4,8	272
Praha (Karlovy)	181	-12	4,0	216	4,3	225	5,1	254
Prachatice	574	-18v	3,3	253	3,8	267	5,1	307
Prostějov	226	-15	3,4	220	3,9	228	5,0	261
Přerov	212	-12	3,5	218	3,5	252	5,1	259
Příbram	502	-15	3,0	239	3,8	230	4,9	290

Lokalita (místo měření)	Nadmořská výška	Venkovní výpočtová teplota	Otopné období pro					
			$t_{em}=12\text{ °}$		$t_{em}=13\text{ °}$		$t_{em}=15\text{ °}$	
	h	t_e	t_{es}	d	t_{es}	d	t_{es}	d
	[m]	[°C]	[°C]	[dny]	[°C]	[dny]	[°C]	[dny]
Rakovník	332	-15	3,4	232	4,0	250	5,7	297
Rokycany (Příbram)	363	-15	3,0	239	3,5	252	4,9	290
Rychnov n/Kněžnou (Slatina)	325	-15	3,0	241	3,5	254	4,8	291
Semily (Libštát)	334	-18v	2,8	243	3,4	259	4,7	303
Sokolov	405	-15v	3,4	239	3,9	254	5,4	297
Strakonice	392	-15	3,3	236	3,8	249	5,2	288
Svidník	220	-18v	2,7	224	3,0	237	4,3	269
Svitavy (Moravská Třebová)	447	-15	2,9	235	3,4	248	4,8	286
Šumperk	317	-15v	3,0	230	3,5	242	5,2	277
Tábor	480	-15	3,0	236	3,5	250	5,0	289
Tachov (Stříbro)	496	-15	3,1	237	3,6	250	5,0	289
Teplice	205	-12v	3,8	221	4,1	230	5,3	261
Trutnov	428	-18	2,8	242	3,3	257	5,0	298
Třebíč (Bítoványky)	406	-15	2,5	247	3,1	263	4,6	306
Uherské Hradiště (Buchlovice)	181	-12v	3,2	222	3,6	233	5,0	266
Ústí nad Labem	145	-12v	3,6	221	3,9	229	5,0	256
Ústí nad Orlicí	332	-15v	3,1	238	3,6	251	4,9	289
Vsetín	346	-15	3,2	225	3,6	236	4,9	270
Vyškov	245	-12	3,3	219	3,7	229	4,9	260
Zlín (Napajedla)	234	-12	3,6	216	4,0	226	5,1	257
Znojmo	289	-12	3,6	217	3,9	226	5,2	256
Žďár nad Sázavou	572	-15	2,4	252	3,1	270	4,7	318

ZDROJ:

TZB-info: *Vnitřní výpočtové teploty dle ČSN EN 12831 a doporučené relativní vlhkosti vzduchu dle ČSN 06 0210* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z:

<http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>

Příloha 3:

Vnitřní výpočtové teploty a doporučené relativní vlhkosti vzduchu:

Druh vytápěné místnosti		Výpočtová vnitřní teplota	Relativní vlhkost
		ti [°C]	ϕ_{ai} [%]
1.	Obytné budovy		
1.1	trvale užívané		
	obývací místnosti, tj. obývací pokoje, ložnice, jídelny, jídelny s kuchyňským koutem, pracovny, dětské pokoje	20	60
	kuchyně	20	60
	koupelny	24	90
	klozety	20	60
	vytápěné vedlejší místnosti (předsíň, chodby aj.)	15	60
	vytápěná schodiště	10	60
1.2	občasné užívané (rekreační) - v době provozu		
	obývací místnosti, tj. obývací pokoje, ložnice, jídelny, jídelny s kuchyňským koutem, pracovny, dětské pokoje	20	60
	kuchyně	20	60
	koupelny	24	90
	klozety	20	60
	vytápěné vedlejší místnosti (předsíň, chodby aj.)	15	60
	vytápěná schodiště	10	60
	- mimo provoz	5	80
2.	Administrativní budovy		
	kanceláře, čekárny, zasedací síně, jídelny	20	60
	vytápěné vedlejší místnosti (chodby, hlavní schodiště, klozety aj.)	15	60
	vytápěná vedlejší schodiště	10	70
	haly, místnosti s přepážkami	18	70
3.	Školní budovy		
	učebny, kreslírny, rýsovný, kabinety, laboratoře, jídelny	20	60
	učební dílny	18	65

Druh vytápěné místnosti		Výpočtová vnitřní teplota	Relativní vlhkost
		ti [oC]	ϕ_{ai} [%]
	tělocvičny	15	70
	šatny u tělocvičen	20	60
	lázně a převlékárny	24	90
	ordinace a ošetřovny	24	80
	vytápěné vedlejší místnosti chodby, schodiště, klozety, šatny jen pro svrchní oděv aj.)	15	
	mateřské školy		
	- učebny, herny, lehárny	22	50
	- šatny pro děti	20	60
	- umývárny pro děti, WC	24	80
	- izolační místnosti	22	50
4.	Zdravotnická zařízení		
4.1	jesle		
	učebny, herny, lehárny	22	50
	šatny pro děti	20	60
	umývárny pro děti, WC	24	80
	izolační místnosti	22	50
4.2	zdravotnická střediska, polikliniky, ordinace	24	50
	čekárny, chodby, WC	20	60
4.3	nemocnice		
	pokoje pro nemocné	22	60
	vyšetřovny, přípravny	24	80
	koupelny	24	90
	operační sály	25	70
	předsíně, chodby, WC, schodiště	20	60
4.4	domovy důchodců		
	obývací místnosti, tj. obývací pokoje, ložnice, jídelny, jídelny s kuchyňským koutem, pracovny, kuchyně	20	60
	koupelny	24	90
	klozety	20	60

Druh vytápěné místnosti		Výpočtová vnitřní teplota	Relativní vlhkost
		ti [oC]	ϕ_{ai} [%]
	vytápěné vedlejší místnosti (předsíně, chodby aj.)	15	60
	vytápěná schodiště	10	60
	Ostatní zdravotnická zařízení a speciální požadavky - viz Sborník technických řešení (Tepelně technická zařízení - Zdravoprojekt)		
5.	Obchodní		
	prodejní místnosti všeobecně	20	60
	prodej trvanlivých potravin	18	60
	prodej masa, mléčných výrobků, ovoce	15	70
	vytápěné vedlejší místnosti (chodby, klozety, aj.)	15	70
	vytápěná schodiště	10	70
	kancelářské místnosti	20	60
	chladírny	2 až 5	80
	sklady	dle požadavků	70 až 90
6.	Hotely a restaurace		
	pokoje pro hosty	20	60
	koupelny	24	90
	hotelové haly, zasedací místnosti, jídelny, sály	20	60
	hlavní schodiště	15	70
	kuchyně	24	80
	vedlejší místnosti (chodby, klozety, aj.)	15	70
	vedlejší schodiště	10	70
7.	Koleje a ubytovny		
	pokoje, hovorny, společenské místnosti	20	60
	společná noclehárna	16 až 18	60
	umývárny	24	80
	zařízení mimo provoz	5	80
8.	Divadla, kina, koncertní sály a jiné kulturní místnosti		
	hlediště a sály včetně přilehlých prostorů	20	60
	chodby, schodiště, klozety	15	70

Druh vytápěné místnosti		Výpočtová vnitřní teplota	Relativní vlhkost
		ti [oC]	ϕ_{ai} [%]
	kancelářské místnosti	20	60
	šatny pro účinkující	22 až 24	60
	koupelny	24	90
	výstavní sály, depozitáře (nebo dle zvláštních požadavků)	15	55
9.	Sportovní budovy		
	sportovní haly		
9.1	tělocvičny, haly	15	70
	šatny, převlékárny	22	60
	umývárny, sprchy, místnosti pro masáž	24	90
	bazénové haly		
	pro dospělé	28	85
9.2	pro děti	30	80
	klidný provoz (zakrytá hladina)	15	70
	sprchy	24	90
	šatny	22	80
	sauny		
9.3	sauny	115	0
	ochlazovny	10	90
	prohřívárny	22	60
	odpočívárny	22	60
	zimní stadiony		
9.4	tréninkové haly (bez diváků)	-5	90
	haly s diváky	15 až 20	75
	Nádraží, letiště		
10.	čekárny, letištní odbavovny (uzavřené)	20	60
	nádražní haly (uzavřené)	15	70
11.	Zemědělské stavby		
11.1	stájové		

Druh vytápěné místnosti		Výpočtová vnitřní teplota	Relativní vlhkost
		ti [oC]	φai[%]
	zateplené stáje pro dojnice	14	85
	výkrm skotu	6	95
	odchov mladého dobytka	6	85
	dochov selat	18 až 21	75
	nosnice	20	50
	bahnice s jehňaty	6	80
11.2	pěstební		
	pěstírny žampionů (krátkodobě při desinfekci)	60	100
	pěstírny plodnic žampionů čekankových puků	16 až 18	90
	naklíčovny brambor	12	90
11.3	skladovací		
	sklady brambor	2 až 5	92
	chladírny ovoce a zeleniny	viz ČSN 14 8102	
12.	Průmyslové stavby		
12.1	průmysl hutního a těžkého strojírenství		
	válcovny, slévárny, opracování a tvarování oceli	16	49
	válcování a lisování za tepla, provozy pecí, vychlazování odlitků, kovárny lehké a střední	20	45
12.2	průmysl hutní		
	elektrolýza zinku	18	61 až 75
	válcovací trať na ploché předvalky, tepelné provozy	20	45
	Thomassování a Bessemerování	25	30
	tažení a válcování trub za studena, svařované trouby	16	49
	výroba vysokopevných trub	16	50 až 60
12.3	průmysl strojírenský		
	závod kovových konstrukcí, výroba armatur, nářaďovny, svařovny	16	49
	mechanické dílny, výroba elektrotechniky - jemná montáž	16 až 18	60
	výroba měřidel, nářadí, ložisek, drobná výroba kovodělná	16 až 20	60
12.4	průmysl stavebních hmot	16	50 až 60

Druh vytápěné místnosti		Výpočtová vnitřní teplota	Relativní vlhkost
		ti [°C]	φai[%]
12.5	průmysl sklářský, keramický a porcelánu		
	výroba skleněné příže	20 až 26	60 až 65
	místnost pro řezání	18	15
	kontrola vrstvy vinylu	13	15
	pece pro sušení vinylu	60 až 65	5
	tavení skla	25	30
12.6	průmysl dřevařský	16	49
12.7	průmysl papírenský		
	sklad papíru	15 až 27	40 až 60
	řezání, klížení, vázání	15 až 20	50 až 60
	haly papírenských stolů	20	75
12.8	průmysl polygrafický		
	tiskárny	20 až 24	60 až 65
	kamenotisk	15 až 24	40 až 60
12.9	filmový průmysl		
	sušení filmů	28 až 32	20 až 50
	kondicionování filmů, řezání, perforování, balení	19 až 24	60 až 65
	filmové laboratoře	20 až 26	45 až 60
	sklad filmů	16 až 24	40 až 65
12.10	průmysl textilní		
	bavlnářské přádelny	22 až 24	50 až 65
	bavlnářské tkalcovny	20 až 24	60 až 75
	hedvábnické tkalcovny	20 až 24	65 až 75
	přádelny vlněných přízí	20 až 24	60 až 75
	vlnářské tkalcovny	20 až 24	65 až 75
	lnářské přádelny	20 až 24	60 až 75
	lnářské tkalcovny	20 až 24	65 až 75
	pletařský průmysl	20 až 24	60 až 75

Druh vytápěné místnosti		Výpočtová vnitřní teplota	Relativní vlhkost
		ti [oC]	ϕ_{ai} [%]
12.11	průmysl kožedělný a obuvnický		
	sklady kožešin	0 až 15	40 až 70
	sklady kůží	15 až 22	40 až 65
12.12	průmysl potravinářský		
12.12.1	cukrovinky čokoláda		
	náplně pro povlečení	23 až 26	45
	ruční namáčení	16 až 18	45 až 50
	balení	19	45 až 50
	skladování bonbónů	13 až 15	50
	výroba pastilek	17	40 až 60
	ochlazování a balení	21 až 24	40 až 45
	sklad ořechů	2 až 13	50 až 70
12.12.2	pekárny		
	sklad surovin	22 až 26	60
	těstárny, kynárny a tvarování	26	60
	provozy s pecemi	26	65
	výroba pečiva	23 až 25	60
	výroba trvanlivého pečiva	27	60
12.12.3	mlékárny		
	stáčení mléka, výroba másla	18 až 20	80
	výroba tvarohu	15 až 20	90
	výroba a plnění krémů	18 až 20	90
	pasterace	10 až 24	45 až 90
12.12.4	pivovary		
	sladovny	10	90
	varny	5 až 45	60 až 90
	spilky	5 až 10	60 až 90
	ležácké sklepy otevřené	2	80 až 90

Druh vytápěné místnosti		Výpočtová vnitřní teplota	Relativní vlhkost
		ti [°C]	φai[%]
12.12.5	sklady potravin		
	chladírny		
	chladírny ovoce a zeleniny dle druhu	-1 ± 7	90
	chladírny masa	0 ± 2	90
	chladírny ryb	-2 ± 1	80 až 90
	mrazírny		
	mrazírny ovoce a zeleniny	-18 až -23	
	mrazírny masa, zvěřiny a ryb	-30 až -35	
	sklady potravin	10	70
12.13	průmysl zdravotnický		
	lisování tabletek	25	40
	sklad prášků a balírna	24	35
	mletí, výroba ampulek biologická výroba	24 až 26	35
	játrový extrakt	24 až 26	10 až 15
	séra	23 až 26	30
	místnost pro větší zvířata	24 až 27	40 až 50
	místnost pro malá zvířata	23 až 26	50 až 55
	mikroanalýza	27	50
12.14	tabákový průmysl		
	místnost vah, vlhčení, vanové vlhčící jednotky, rozběrna, třídírna, řezárna	20 až 26	70 až 80
	sklad řezaného tabáku, hala cigaretových strojů	20 až 26	65
	sušení hotových cigaret	28 až 32	nízká
	sklad hotových cigaret	20 až 26	60 až 70
	fermentace tabáku	25 až 60	měnitelná
12.15	průmysl obslužný		
	vodojemy, manipulační komory, malé čistírny odpadních vod, úpravny vod	1	90
	trafostanice	te viz tabulka A.1	80 až 90
	U všech typů objektů, není-li uvedeno jinak, platí:		

Druh vytápěné místnosti		Výpočtová vnitřní teplota	Relativní vlhkost
		ti [oC]	ϕ_{ai} [%]
	svlékárny	10	60
	šatny	20	60
	- jen pro odkládání svrchního oděvu	15	60
	- pro převlékání	20	60
	umývárny		
	- jen pro mytí do půl těla	22	80
	- sprchy a převlékárny u sprch	24	90
	hygienické koutky pro ženy	24	60
	kancelářské místnosti, vrátnice apod.	20	60
	chodby, klozety a jiné vedlejší místnosti	15	70
	vytápěná schodiště	10	70
13.	Různé místnosti		
	jídelny	20	60
	kuchyně (pro hromadné stravování)	15	80
	garáže a jiné místnosti chráněné proti mrazu	5	80

ZDROJ:

TZB-info: *Vnitřní výpočtové teploty dle ČSN EN 12831 a doporučené relativní vlhkosti vzduchu dle ČSN 06 0210* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/28-vnitri-vypoctove-teploty-dle-csn-en-12831-a-doporucene-relativni-vlhkosti-vzduchu-dle-csn-06-0210>

Příloha 4:

Přehled vybraných vlastností chladiv:

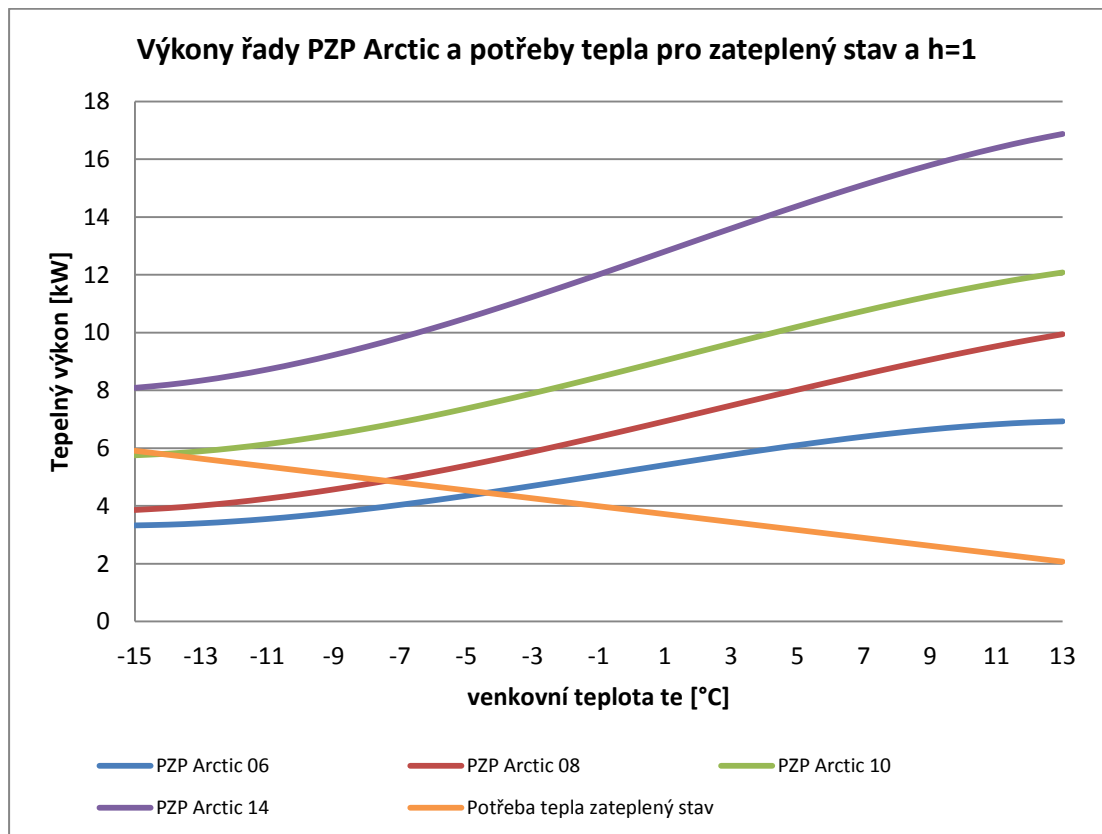
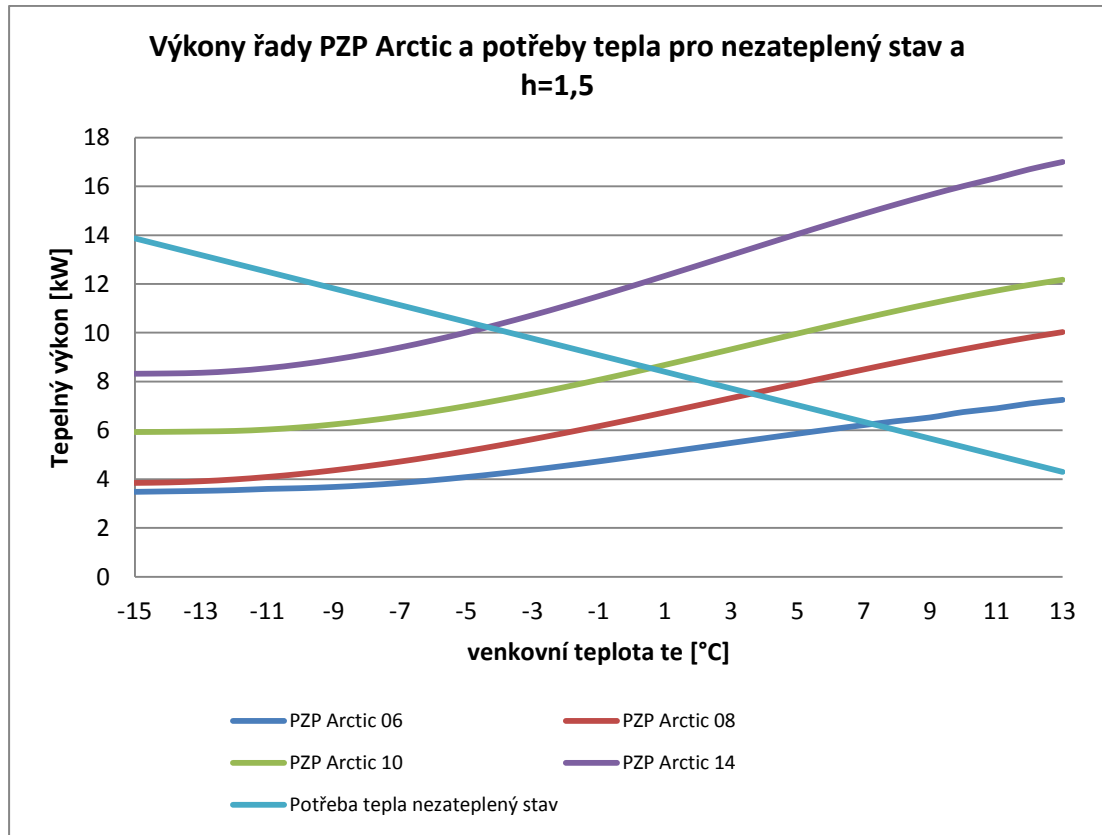
Označení chladiva		Fyzikální data			Bezpečnostní údaje			Potenciál vlivu na životní prostředí				
		Molová hmotnost (kg.kmol ⁻¹)	Teplota varu při 101,3 kPa (°C)	Kritické veličiny teplota (°C) tlak (MPa)	Kritická koncentrace (kg.m ⁻³)	Meze výbušnosti ve vzduchu dolní (kg.m ⁻³) horní (kg.m ⁻³)		Bezpečnostní skupiny	rozklad ozonu ODP	oteplování GWP ₁₀₀		
Halogenované uhlovodíky (jedno- a víceřadkové)												
R22	CHClF ₂	86,47	-40,8	96,1	4,99	0,3	nevýbušné	A1	L1	0,050	1 700	
R134a	CH ₂ FCF ₃	102,00	-26,1	101,1	4,06	0,25	nevýbušné	A1	L1	0	1 300	
R152a	CH ₃ CHF ₂	66,10	-24,0	113,3	4,52	0,027	0,137	0,462	A2	L2	140	
R227ea	CF ₃ CHFCF ₃	170,03	-16,5	101,8	2,93		nevýbušné			0	2 900	
RC318	(-CF ₂ -CF ₂) ₂	200,03	-7,0	115,4	2,78	0,81	nevýbušné	A1	L1	0	8 700	
R404A	R125/143a/134a (44/52/4)	97,60	-46,6	72,1	3,74	0,48	nevýbušné	A1/A1	L1	0	3 260	
R407C	R32/125/134a (23/25/52)	86,20	-43,8	86,0	4,63	0,31	nevýbušné	A1/A1	L1	0	1 530	
R410A	R32/125 (50/50)	72,60	-51,6	70,2	4,77	0,44	nevýbušné	A1/A1	L1	0	1 730	
R507	R125/143a (50/50)	98,90	-47,1	70,7	3,71	0,49	nevýbušné	A1	L1	0	3 300	
Uhlovodíky												
R290	CH ₃ CH ₂ CH ₃ Propan	44,10	-42,1	96,8	4,25	0,008	0,038	0,171	A3	L3	0	3
R600	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃ Butan	58,12	-0,5	152,0	3,80	0,008	0,036	0,202	A3	L3	0	3
R600a	CH(CH ₃) ₂ -CH ₃ Isobutan	58,12	-11,8	135,0	3,65	0,008	0,043	0,202	A3	L3	0	3
Přírodní chladiva												
R717	NH ₃ špavek	17,03	-33,3	133,0	11,42	0,00035	0,104	0,195	B2	L2	0	0
R744	CO ₂	44,01	-78,4	31,1	7,38	0,1	nevýbušné		A1	L1	0	1

ZDROJ:

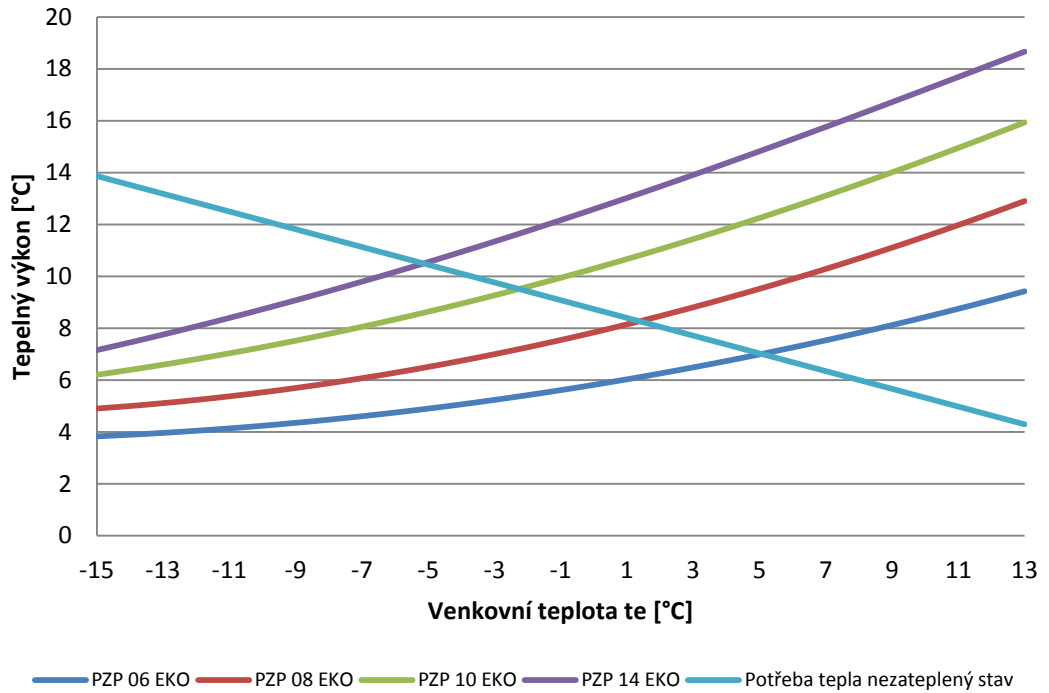
PETRÁK, Jiří a Miroslav PETRÁK. *Teplná čerpadla*. Praha: České vysoké učení technické, Fakulta strojní, 2004. ISBN 80-01-03126-8.

Příloha 5:

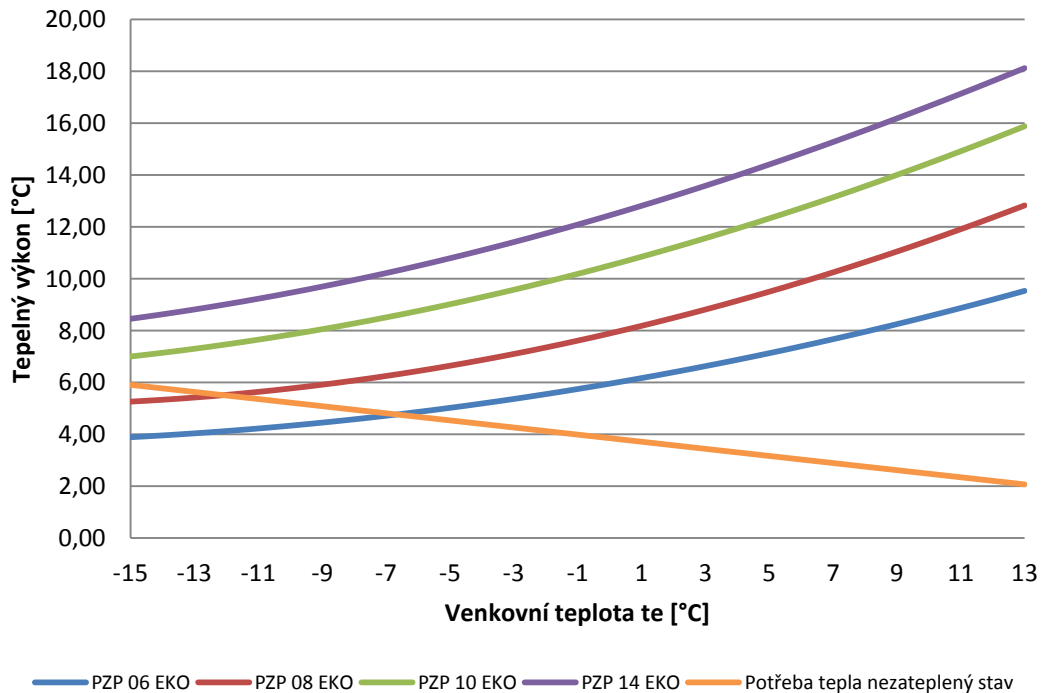
Body bivalence tepelných čerpadel PZP:



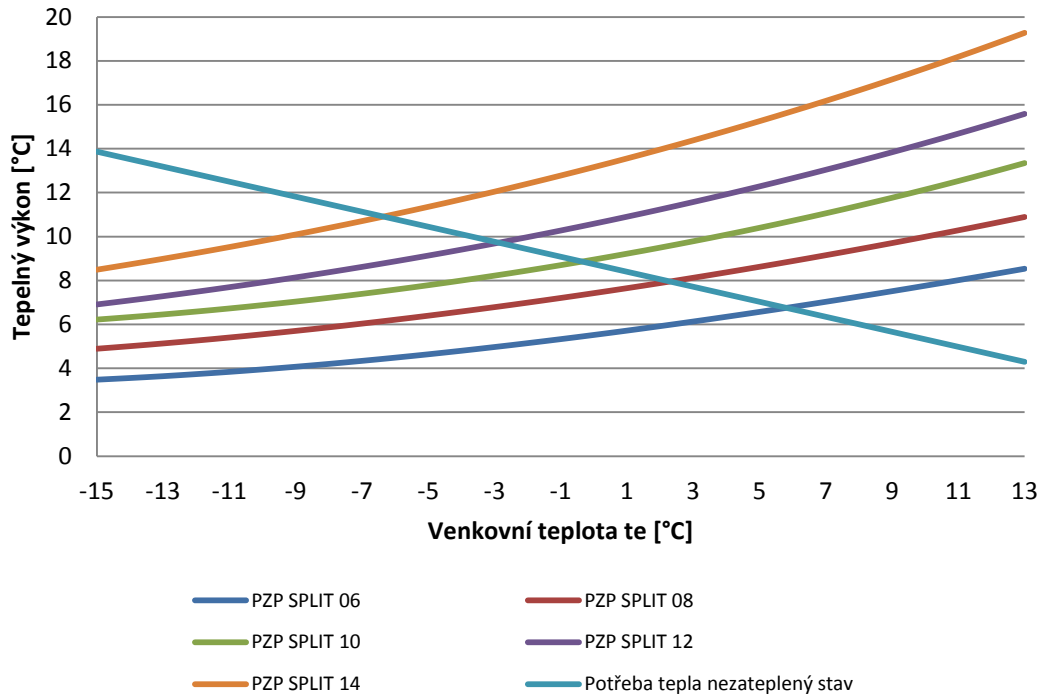
Výkony řady PZP Economic a potřeby tepla pro nezateplený stav a h=1,5



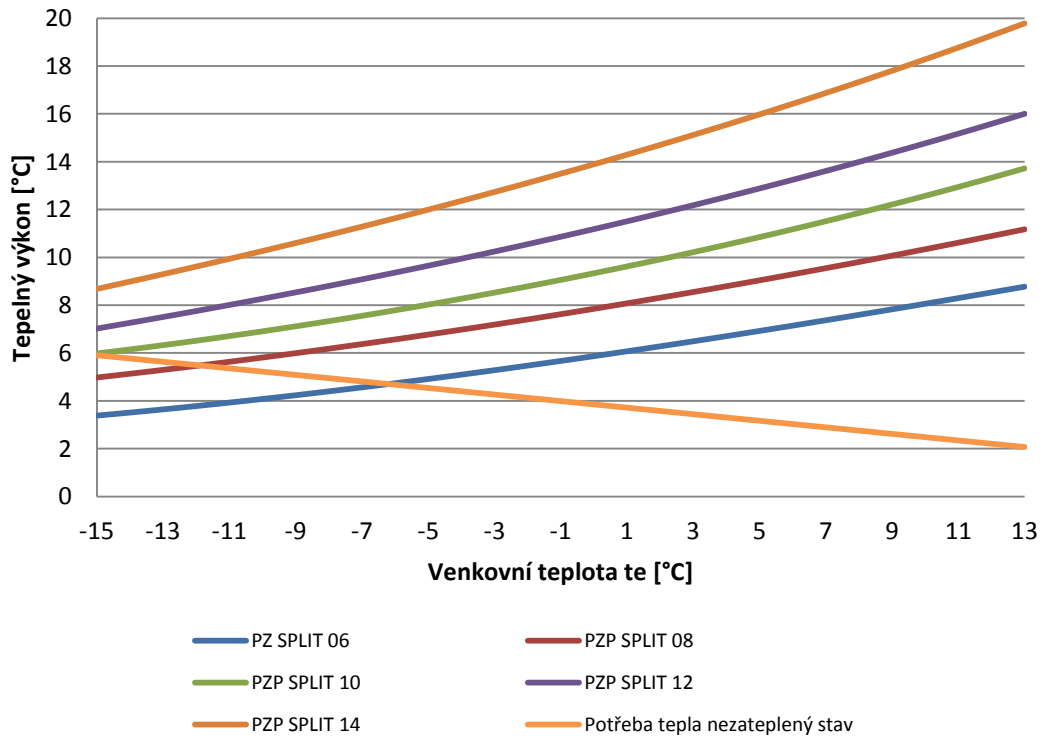
Výkony řady PZP Economic a potřeby tepla pro zateplený stav a h=1



Výkony řady PZP SPLIT a potřeby tepla pro nezateplený stav a h=1,5



Výkony řady PZP SPLIT a potřeby tepla pro zateplený stav a h=1



Příloha 6:

Finanční produkty bank:

TŘ MODELOVÉ PŘÍKLADY

50 TISÍC KORUN, SPOTŘEBITELSKÝ ÚVĚR					
Banka	Úroková sazba	Splatnost	Měsíční splátka	RPSN	Celkově zaplatíte
AirBank	9,9 %	2 roky	23x 2 348 Kč, 1x 1 124 Kč	10,37 %	55 128 Kč ¹⁾
AirBank	9,9 %	3 roky	34x 1 658 Kč, 1x 1 344 Kč, 1x 0 Kč	10,37 %	57 648 Kč ¹⁾
ČSOB Půjčka na cokoli	11,9 % (16,2 % pro 1.-42. splátku, 0 % pro 43.-84. splátku)	7 let	1.-42. splátka 999 Kč, 43.-84. splátka 759 Kč	13,6 %	73 836 Kč
Komerční banka	8,2 %	6 let	887 Kč	8,9 %	63 883 Kč ²⁾
Raiffeisenbank	7,9 %	5 let	1 012 Kč	8,19 %	60 720 Kč ²⁾
Zuno	6,9 %	5 let	987,70 Kč	7,12 %	59 262 Kč

POZNÁMKY: 1) 9,9 % je maximální úroková sazba, obvykle klienti získávají sazby nižší, již od 6,9 %, 2) Příklad je spočítán k datu 8. 10. 2015 a termínu splácení úvěru vždy k 20. dni v měsíci, 3) Úvěr je bez poplatku za poskytnutí, vedení i předčasné splácení. Klient při řádném splácení obdrží finanční odměnu ve výši 7 000 Kč. V takovém případě celkem zaplatí jen 53 720 Kč.

500 TISÍC KORUN, HYPOTÉKA					
Banka	Splatnost	Fixace	Úroková sazba	Měsíční splátka	Celkově zaplatíte
ČSOB	10 let	5 let	1,99 %	4 698,43 Kč	551 811,60 Kč
Komerční banka	10 let	5 let	od 2,09 %	4 621 Kč	554 520 Kč
Raiffeisenbank	10 let	5 let	1,99 %	4 599 Kč	551 880 Kč ⁴⁾
Wüstenrot	10 let	3 roky	2,24 %	4 655 Kč	558 553 Kč
Wüstenrot	20 let	3 roky	2,24 %	2 587 Kč	620 794 Kč

POZNÁMKY: 4) Vyřízení i vedení hypotéky je zdarma. Výpočty jsou pouze orientační, nezohledňují změnu úrokové sazby při ukončení doby fixace.

150 TISÍC KORUN, ÚVĚR ZE STAVEBNÍHO SPOŘENÍ, KTERÉ KLIENT ZATÍM NEMÁ								
Stavební spořitelna	Splatnost	Úroková sazba překlenovacího úvěru	Měsíční splátka	Překlopení	Úro. saz. řádného úvěru	Měsíční splátka	RPSN	Celkově zaplatíte
ČMSS	15 let	6,9 %	1 537 Kč (862 Kč splátka úvěru, 675 Kč dospořování)	po 7 letech	4,3 %	1 200 Kč	7,96 %	226 615 Kč ⁵⁾
ČMSS	5 let	6,9 %	3 700 Kč (862 Kč splátka úvěru, 2 838 Kč dospořování)	po 2 letech a 9 měsících	4,3 %	1 200 Kč		170 698 Kč ⁶⁾
Modrá pyramida, Rychlouvěr na lepálí bydlení	15 let	4,99 %, stejná po celou dobu splácení	1 245 Kč, stejná po celou dobu splácení				5,06 %	228 438,52 Kč ⁶⁾
Raiffeisen SS	12 let, půjčka počítána ke dni 1. 11. 2015	6,3 %	1 540 Kč	k 31. 7. 2022	3,5 %	1 500 Kč	7,64 %	162 501 Kč ⁷⁾
Wüstenrot stavební spořitelna, Půjčka ProBydlení	10 let	4,5 %, stejná po celou dobu splácení	1 600 Kč, stejná po celou dobu splácení				5,14 %	190 899 Kč ⁸⁾

POZNÁMKY: 5) Sazby by bylo možné dále snížit využitím různých doplňkových produktů (např. pojištění apod.) o 0,4 %. Pokud by klient měl na SS naspořeno nějakou částku a bral by si úvěr ve větší hodnotě, mohl by se dostat až na 1,9 % pro překlenovací úvěr a 2,95 % pro řádný úvěr, 6) Jde o nezajistěný úvěr, protože časové a finanční náklady související se zástavou nemovitosti se v tomto případě nevypláť. 7) Úvěr bude splácen 25. 1. 2028, 8) Půjčka je bez akontace k nové smlouvě o stavebním spoření a bez zajištění nemovitostí. Poplatky za uzavření smlouvy o stavebním spoření, zapracování a poskytnutí úvěru, správa úvěru jsou 0 Kč.

ZDROJ:

Bydlení dnes: mimořádný magazín MF Dnes o bydlení, zahradě a hobby. Praha: MAFRA, 21. října 2015, č. 42.

Příloha 7:

Technický list zvoleného tepelného čerpadla:

- příloha je nahrána na CD

Příloha 8:

Technický list zvoleného kotle:

- příloha je nahrána na CD

Elektronická příloha:

Dílčí výpočty:

- příloha je nahrána na CD