

## Stanovení možnosti energetických úspor při náhradě elektrokotlů a klimatizací tepelnými čerpadly v ČR

Dílo bylo zpracováno za finanční podpory Státního programu na podporu úspor energie na období 2017–2021 – program EFEKT 2 pro rok 2021

prosinec 2021



<b>Objednatel</b>	Ministerstvo průmyslu a obchodu	
<b>Zhotovitel</b>	EGÚ Brno, a. s.	
<b>Evidenční čísla</b>	číslo dotace (MPO)	122D22200 <b>1210</b>
	číslo smlouvy (EGÚ Brno, a. s.)	77314

## Stanovení možnosti energetických úspor při náhradě elektrokotlů a klimatizací tepelnými čerpadly v ČR

Dílo bylo zpracováno za finanční podpory Státního programu na podporu úspor energie na období 2017–2021 – program EFEKT 2 pro rok 2021

**Zpracovali za zhotovitele** Ing. Martin Pešek, Ph.D., MBA, Ing. Petr Modlitba, Ing. Lukáš Mařica, Ing. Karolína Vítková (odpovědní pracovníci) a kolektiv EGÚ Brno (zpracovatelé publikace)

**Spolupracovali za objednatele** Ing. Hana Schvarczová



# Obsah

---

<b>1</b>	<b>Uvedení do problematiky</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Tepelná pohoda</b>	<b>8</b>
2.1	Vnitřní mikroklima	8
2.2	Historie tepelných čerpadel a chladicích zařízení	10
2.3	Využití tepelných čerpadel v současnosti	11
2.4	Řešení klimatizací v současnosti	13
<b>3</b>	<b>Legislativní úprava</b>	<b>16</b>
3.1	Úroveň EU	16
3.2	Úroveň ČR	20
3.2.1	Získání povolení, investiční podpora a podmínky pro udělení dotace	20
<b>4</b>	<b>Energetická účinnost</b>	<b>22</b>
4.1	Princip činnosti chladicího zařízení/tepelného čerpadla	22
4.2	Sezónní účinnost	24
4.3	Energetická náročnost vytápění tepelným čerpadlem	28
4.3.1	Zdroje tepla pro tepelná čerpadla	29
4.3.2	Teplotní úrovně spotřeby tepla	33
4.3.3	Regulace a zapojení tepelného čerpadla	34
4.3.4	Zhodnocení	35
4.4	Energetická náročnost chlazení	37
4.4.1	Chlazení vlhkého vzduchu	37
4.4.2	Metody chlazení	37
<b>5</b>	<b>Stanovení potenciálu v ČR</b>	<b>39</b>
5.1	Přímotopy	39
5.1.1	Tarifní systém pro přímotopy	40
5.1.2	Metodika spotřeby elektrické energie na vytápění podle typových diagramů dodávky	43
5.1.3	Metodika výpočtu spotřeby elektrické energie pro vytápění podle přepočtu na subsektory maloodběru spotřeby	45
5.2	Klimatizace	47
5.2.1	Stanovení potenciálu	47
5.2.2	Sazby pro klimatizace	50

6	Stanovení potenciálních úspor	51
6.1	Vyhodnocení úspory elektrické energie pro vytápění a ohřev TV	51
6.2	Vyhodnocení úspory elektrické energie pro chlazení	52
	Závěr	53
	Seznam zkratk	55
	Zdroje informací	56

# 1 Uvedení do problematiky

Teplená čerpadla (TČ) jsou moderní energická zařízení, která využívají energii okolního prostředí zejména pro vytápění budov a ohřev teplé vody (TV), ale také pro chlazení objektů. Tato zařízení jsou specifická tím, že dokáží odnímat energii z vnějšího prostředí (vzduch, voda, půda) a předávat jí do vnitřního prostředí skrze jiné teponosné médium (voda, vzduch). Základní výhodou je poměr vynaložených energií, tedy vnější energie, kterou je nutné dodat do procesu a energie prostředí, která je výsledkem práce TČ. Tento poměr lze do jisté míry označit jako účinnost takového zařízení a pohybuje se nejčastěji v rozmezí 3 až 5. Jedná se tedy o účinnost 300–500 % a tento poměr je označován jako COP (coefficient of performance) nebo TF (topný faktor). V porovnání s klasickými zdroji energie (elektrokotel, plynový kotel), kde se účinnost pohybuje pod 100 %, je patrná zásadní výhoda pro využití TČ.

Tato zařízení mají také svá negativní specifika. Zásadní nevýhodou je zejména pořizovací cena, nutnost specifického otopného systému a jeho provozu (opět vyšší cena, reakce otopného systému na změny), částečné znehodnocení venkovního prostoru (hlukem, instalací zemních kolektorů či vrtů) a větším zábořem vnitřního prostoru TČ a jeho vybavením a příslušenstvím. Tato negativa jsou kompenzována nižšími provozními náklady, bezúdržbovým a případně dálkovým ovládním a environmentální myšlenkou využívání ekologicky šetrnějšího zařízení. Tato zařízení se již více než dekádu mohutně dostávají do povědomí investorů i veřejnosti zejména kvůli úspoře energií a své ekologičnosti. Ekologické aspekty a snaha o moderní přístup k bydlení částečně převažují nad ekonomickým efektem instalace dražšího energetického zdroje spolu s příslušenstvím.

V případě ekonomické výhodnosti a technické připravenosti objektů by bylo možné uvažovat o náhradě zdrojů tepla (elektrokotel) a ohřevu teplé vody (boiler, zásobník TV) tepelnými čerpadly. Tyto zdroje tepla pro vytápění vnitřních prostor a ohřev teplé vody by mohly být nahrazeny tepelnými čerpadly, které mají násobně vyšší účinnost, kterou vzniká výrazný potenciál energetických úspor. V České republice si prodeje **elektrokotlů** stále drží pomyslné třetí místo ze všech prodaných kotlů domovní velikosti, a to za plynovými kondenzačními kotli a stále hojně využívanými kotli na pevná paliva. Může za to jejich konstrukční jednoduchost a variabilita spolu s cenou zařízení. Reverzní chod tepelného čerpadla se také dá využít pro režim chlazení vnitřního prostředí v tzv. reverzním chodu, tedy ve stavu, kdy je teplo odváděno z obytného prostoru do okolního prostředí. V případě instalací TČ země/vzduch lze uvažovat i o pasivním způsobu chlazení budov, kde je zdrojem chladu teplota zeminy předchlazená ze zimního období. Lze takto účelně provádět regeneraci zdroje energie jak pro letní, tak pro zimní období.

Tato publikace má pomoci objasnit myšlenku možných energetických úspor, které mohou vzejít z náhrady elektrokotlů, boilerů a případně i klimatizačních zařízení v ČR a touto úsporou přispět ke snížení spotřeby elektrické energie v ČR. Jedná se o nahrazení těchto zařízení v domácnostech.

Publikace je určena pro širokou laickou i odbornou veřejnost, pro studenty vysokých škol (technického i netechnického zaměření) a také pro decizní sféru (MPO, MŽP, ERÚ, OTE). V publikaci jsou přehledným způsobem představeny informace z veřejně dostupných zdrojů a jsou dány do kontextu pohledu konzultační společnosti, která se energetikou zabývá více než 70 let. Pomocí unikátních metodických přístupů v oblasti modelování spotřeb a typových diagramů, které dlouhodobě rozvíjí firma žadatele, je možné stanovit teoretický potenciál úspor v ČR. Výstupem publikace je informace o výši reálného (technicky proveditelného) potenciálu spotřeby tepla a chladu ČR.

Publikace slouží čtenáři pouze jako úvod do této obsáhlé problematiky. Výsledky studie je proto nutno vnímat v jejím kontextu a s ohledem na časovou i finanční dotaci, tedy jako indikativní a vyzývající na mnoha místech k podrobné analýze a další diskuzi.

## 2 Tepelná pohoda

### 2.1 Vnitřní mikroklima

V současnosti tráví lidé až 90 % času v uzavřených prostorech budov. Aby byl tento pobyt příjemný a zdravotně nezávadný, je nutné vytvořit ve vnitřním prostředí vhodné podmínky – tzv. interní mikroklima. To se vytváří v závislosti na aktuálních vnějších podmínkách, provozu budov a provedení jejich stavební konstrukce. Vnitřní prostředí je tvořeno řadou faktorů, které spolu vzájemně interagují.

Výchozí pro klasifikaci a identifikaci stavu interního mikroklimatu jsou tzv. agencie. Agencie mají charakter energetický (teplo, chlad, hluk, chvění, záření) či látkový (oděry, vodní pára, prach, plyny, aerosoly, jež tvoří dým, kouř apod.). V technické praxi je pro agencie stále užívaný termín škodliviny, ačkoliv ne všechny agencie mají negativní vliv na stav vnitřního prostředí.

Podle povahy působících agencí lze interní mikroklima kategorizovat do prvotních složek, jež následně tvoří:

**Tepelně vlhkostní mikroklima** je složka prostředí s dominantním vlivem na stav vnitřního prostředí, projevující se působením tepla a vlhkosti (vodní páry) ze zdrojů tvořených vnitřními či vnějšími agencemi. V budovách s pobytem osob je zásadní produkce tepla osob. Klasickým a tradičním faktorem hodnocení stavu tepelně vlhkostního mikroklimatu budov je tepelná pohoda, která zohledňuje teplotu vzduchu v prostoru, teplotu okolních ploch, rychlost proudění vzduchu v oblasti pobytu člověka, vlhkost vzduchu, tepelné izolační vlastnosti oděvu a tělesnou aktivitu člověka.

**Odérové mikroklima** je součástí vnitřního mikroklimatu, tvořená plynnými složkami v ovzduší, jež lidé vnímají jako pach či vůně, které ovlivňují jejich celkový stav. Oděry tvoří anorganické nebo organické látky produkované člověkem, jeho činnostmi, event. uvolňované ze stavebních konstrukcí, nábytku, zařízení apod. V prostorech s pobytem osob je převažujícím oděrem CO<sub>2</sub>.

**Akustické mikroklima** tvoří složku prostředí vyznačující se projevem zpravidla většího počtu zvukových zdrojů, jež působí neperiodicky v širokém rozsahu kmitočtů. Negativním projevem zvuku je hluk projevující se rušivým účinkem zejména na člověka.

**Aerosolové mikroklima** zohledňuje výskyt pevného a kapalného aerosolu v prostředí, který může být organického nebo anorganického původu. Typickým příkladem je výskyt organického prachu, který se často projevuje jako alergen.

**Mikrobiální mikroklima** je komponenta vnitřního mikroklimatu, beroucí v potaz přítomnost a působení mikrobů, bakterií, virů, plísní apod. Zásadní význam má tato složka ve zdravotnictví a v tzv. čistých prostorech farmaceutického, elektronického, optického průmyslu apod.

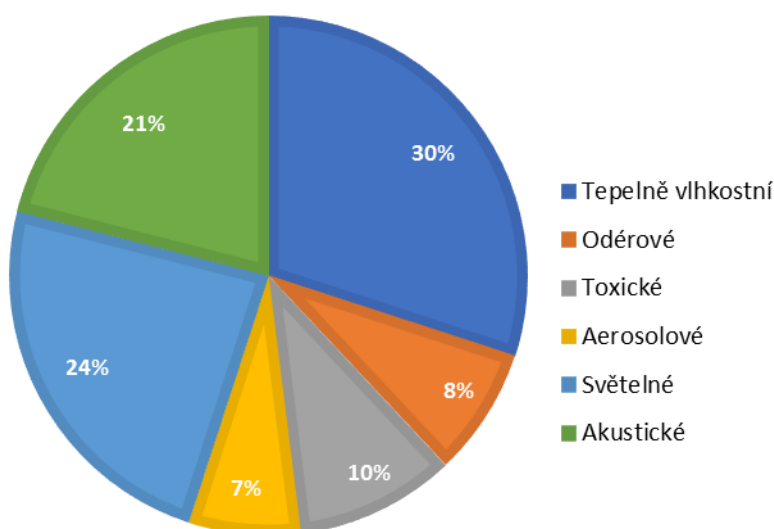
**Ionizační mikroklima** je tvořeno zářeními, jež produkují jak přírodní radioaktivní látky, tak umělé zdroje. Typickým produktem je radon, jenž je produktem rozpadu uranu.

**Světelné mikroklima** zahrnuje vliv osvětlení a barevnosti prostoru na psychickou pohodu člověka.

**Toxické mikroklima** je tvořeno toxickými plyny, které se obdobně jak u odérového mikroklimatu do prostředí dostávají buď z exteriéru, nebo jsou uvolňovány přímo v interiéru. Nejvýznamnějšími toxickými plyny v prostředí jsou SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> a CO.

Vnímání jednotlivých složek člověkem je rozdílné, a k celkovému vnímání vnitřního mikroklimatu tak přispívají rozdílně. Podíl hlavních složek na celkovou hodnotu interního mikroklimatu znázorňuje **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..** Z obrázku je zřejmé, že tepelné podmínky mají mnohem větší vliv na subjektivní pocit pohody člověka, míru odpočinku i skutečnou produktivitu práce než nežádoucí škodliviny či obtěžující hluk.



**Obrázek 2.1** Vliv složek mikroklimatu na celkové hodnocení vnitřního prostředí

Zdroj: MPO, Oddělení analýz a datové podpory koncepcí

Parametry tepelně vlhkostního mikroklimatu, které zajistí příjemné prostředí, jsou označovány jako tepelná pohoda. Tepelná pohoda se pak dá popsat jako příjemný pocit navozující celkovou pohodu i umožňující optimální pracovní výkon. Předpokladem dosažení tepelné pohody je vyrovnaný stav toku tepla mezi člověkem a prostředím bez viditelného pocení, nebo naopak bez pocitu chladu a bez použití ochranných termoregulačních procesů lidského těla.

Hlavními faktory, které ovlivňují tepelnou pohodu (zároveň i tepelnou bilanci našeho organismu), jsou vnitřní prostředí (teplota, vlhkost a proudění vnitřního vzduchu) a osobní faktory (věk, váha, oblečení atd.).

Jak již název „tepelná pohoda“ napovídá, je nejvýznamnějším parametrem pro její dosažení teplota. Tepelnou pohodu však nezajišťuje jen teplota vzduchu. Spolupůsobí zde i další teplotní faktory prostředí, zejména pak teplota stěn, podlahy a ostatních okolních ploch. Významnou roli hraje sálavá teplotní složka prostředí, ať už způsobená sluneční radiací, nebo sálavým vytápěním. Tepelná pohoda je dále silně ovlivněna rychlostí proudění vzduchu. Méně je pak tepelná pohoda ovlivňována vlhkostí vzduchu. Obecně lze doporučení pro tvorbu vhodného tepelně vlhkostního mikroklimatu popsat pomocí následujících bodů:

Teplota vnitřního vzduchu má být vyšší než střední radiační teplota okolních ploch místnosti.

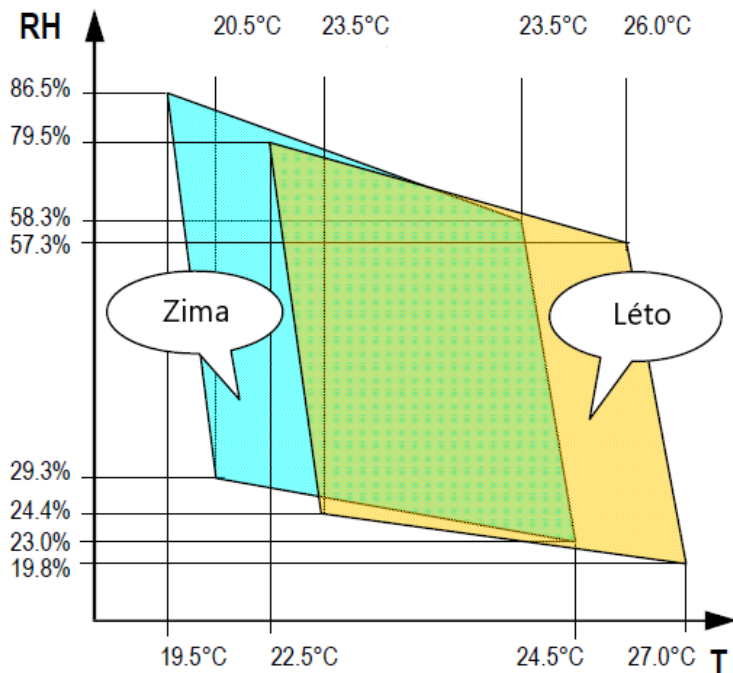
Průměrná rychlost vzduchu v zóně pobytu osob v občanských stavbách se má pohybovat v mezích 0,15 až 0,2 m·s<sup>-1</sup>. V případě nižší rychlosti proudění se v prostoru vyskytuje stagnující vzduch s pocitů dusna. Je-li teplota vnitřního vzduchu vyšší než 26 °C, může být uvedená rychlost do 0,3 m·s<sup>-1</sup>.

Relativní vlhkost vnitřního vzduchu v místnostech s pobytem osob by měla být mezi 40 % až 60 %, ideálně 50 %.

Teplota vnitřního povrchu stěny musí být vyšší než teplota rosného bodu vzduchu. Jinak dojde ke kondenzaci vodní páry na vnitřním povrchu stěny, čímž se zvyšuje riziko tvorby plísní.

Doporučená oblast kombinací teploty a vlhkosti pro dosažení tepelné pohody pro různá roční období je uvedena na následujícím obrázku, kde RH je relativní vlhkost v % a T je teplota ve °C.

Obrázek 2.2 Zóna tepelného komfortu ve vnitřním prostředí



Zdroj: *Journal of Mechanical and Civil Engineering*

## 2.2 Historie tepelných čerpadel a chladicích zařízení

Pro dosažení tepelné pohody je tedy klíčovým parametrem dosažení potřebné teploty, což podle klimatických podmínek znamená potřebu vytápění pobytových prostor v zimním období a chlazení v letním období.

Pomineme-li využití ohně k vytápění příbytků pravěkých lidí, sahá historie vytápění a chlazení do období 2 000 let př. n. l. Do této doby se datují nejstarší vykopávky v Mohendžodaro v dnešním Pákistánu, které připomínají konstrukci Hypokaustu (prostor pod podlahou sloužící k vytápění), známou z římských lázní, jejíž vynález se připisuje Sergiu Oratovi (kolem roku 90 př. n. l.). Za historicky první případ cíleného chlazení prostor pak lze považovat použití vlhkých rohoží Egyptany v období 2 600 let př. n. l. Rohože byly umísťovány ve vstupních portálech do obývaných místností a v důsledku odparu vody ochlazovaly proudící vzduch, vstupující do těchto prostor. Vývoj vytápění šel dále cestou využití tepla otevřeného ohně a rozvodu teplých spalin. V případě chlazení se jednalo zejména o využívání přírodních látek, zejména ledu, popř. ochlazujícího efektu při rozpouštění některých solí.

K zásadnějšímu rozvoji v obou oblastech dochází v 19. století, kdy bylo kolem roku 1830 Angier March Perkinsem vytvořeno první parní radiátorové vytápění. V roce 1855 vynalezl Franz Karlovitsch San Galli litinový radiátor a v roce 1857 bylo Peterem Von Rittingerem sestrojeno první funkční tepelné čerpadlo, tedy zařízení schopné odebírat teplo z místa s nižší teplotou a dodávat jej do místa s vyšší teplotou. Rittinger při stavbě využil poznatky, které nezávisle na sobě odvodili Rudolf Clausius (1850) a William Thompson lord Kelvin (1851) a které dnes známe jako druhý zákon termodynamiky. Právě Lord Kelvin v roce 1852 vyslovil myšlenku, že „obrácený tepelný motor“ by bylo možné použít nejen pro chlazení, ale i pro vytápění, kdy takovéto zařízení by mělo nižší spotřebu primární energie, neboť by odebíralo část tepla z okolního prostředí.

Vývoj chlazení se ze začátku zaměřoval hlavně na oblast uchování potravin, a hlavně pak možnosti náhrady přírodního ledu strojním zařízením. Za historický milník je v oblasti chlazení označován rok 1834, kdy Jacob Perkins sestrojil první kompresorové chladicí zařízení, kde byl jako chladivo použit éter. Ve 40. letech 19. století přišel Dr. John Gorrie z Floridy s myšlenkou na chlazení nemocničních prostor, čímž by se dle něj snížilo šíření nález jako je malárie. Za tímto účelem však bylo zapotřebí na Floridu dovážet přírodní led, což bylo značně neekonomické. V roce 1851 si tedy nechal patentovat kompresorové chladicí zařízení na výrobu ledu. Ve stejném roce sestrojil Ferdinand Carré první komerčně úspěšné absorpční chladicí zařízení, založené na dvojici voda – čpavek. Do historie chlazení následně patří i již zmíněné první tepelné čerpadlo určené pouze k ohřevu, které sestrojil v roce 1857 Peter von Rittinger v rakouském Ebensee. Toto čerpadlo bylo použito k získávání soli v místních solných dolech. Jednalo se o experimentální zařízení s výkonem 14 kW, které trpělo řadou neduhů. Na tyto pionýrské projekty následně navázali další konstruktéři a oblast chlazení a tepelných čerpadel zažila významný růst. Za zmínku stojí první skutečně funkční tepelné čerpadlo, které bylo použito v solném dole ve švýcarském Bexu a bylo sestrojeno Antoine-Paul Piccardem a J. H. Weibelem. V roce 1902 navrhl Willis Carrier ze společnosti Buffalo Forge Company zařízení pro úpravu vlhkosti v tiskárně. Využil postup odvlhčování vzduchu v důsledku jeho ochlazení na povrchu tepelného výměníku, a položil tak základ oblasti průmyslového chlazení a klimatizace. Roku 1912 si Heinrich Zoello ze Švýcarska nechal patentovat návrh na tepelné čerpadlo se zemním výměníkem tepla. V roce 1917 byl poprvé použit elektrický kompresor švýcarskou firmou Kummeler & Matter. Roku 1928 postavil J. Halden tepelné čerpadlo určené pro vytápění vlastního domu. Komerční instalace tepelných čerpadel se začaly objevovat v USA (1930 ve firmě Southern California Edison v Los Angeles), dále ve Švýcarsku (1938 v Curychu na městské radnici, 1942 na univerzitě ETH) a postupně v dalších zemích, kde byla budována tepelná čerpadla jak pro vytápění, tak chladicí zařízení, která využívala odpadní teplo k ohřevu teplé vody či vytápění (typicky se jednalo o instalace v pivovarech či na zimních stadionech). Rozvoj technologie tepelných čerpadel přicházel zejména v obdobích energetických krizí. Většího rozmachu v oblasti vytápění bylo dosaženo na konci 70. let a začátkem 80. let, kdy se odhaduje, že ve třetině nových rodinných domů v USA byla instalována tepelná čerpadla. V ČR se objevují první tepelná čerpadla přibližně od roku 1982, kdy bylo tepelné čerpadlo instalováno v rekreačním středisku ČVUT. Tepelná čerpadla se za posledních 20–30 let intenzivně vyvíjela a jejich uplatnění rostla jak v bytovém sektoru, tak i v průmyslu.

### 2.3 Využití tepelných čerpadel v současnosti

V minulosti přicházel nárůst využití tepelných čerpadel v obdobích energetických krizí, kdy ekonomický přínos úspory energie převládá nad vyšší pořizovací cenou. Současný nárůst zájmu o tepelná čerpadla je podmíněn zejména snahou o snížení produkce emisí skleníkových plynů, kdy **tepelná čerpadla dokážou pokrýt danou potřebu tepla při nižší spotřebě primární energie v důsledku využívání energie prostředí**. Dalším faktorem pro nárůst zájmu o tepelná čerpadla je pohodlí spojené s jejím využíváním, přijatelná cenová dostupnost v důsledku sériové výroby a provozní spolehlivost současných zařízení.

Tepelná čerpadla aktuálně nacházejí uplatnění při vytápění rodinných a bytových domů, kancelářských budov a průmyslových areálů. V posledních letech je patrný také rostoucí zájem o průmyslová tepelná čerpadla, která umožňují znovu využít odpadní teplo, přispívat do systému CZT či řešit produkci tepla a chladu.

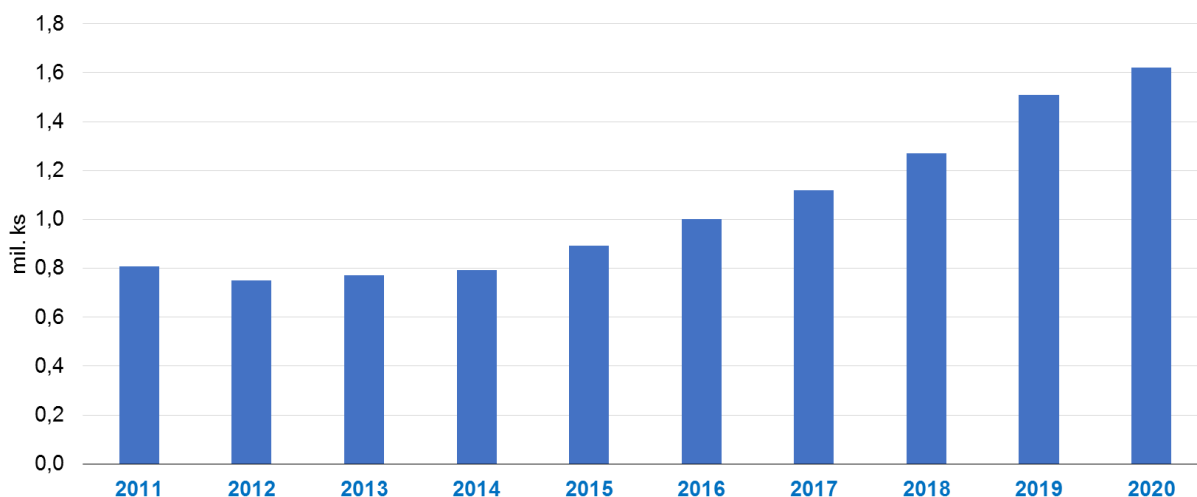
V současnosti se na trhu objevuje množství tepelných čerpadel, která lze rozřadit do kategorií podle různých hledisek, z nichž základní jsou:

1. Princip činnosti – rozlišuje tepelná čerpadla na základě použitého principu dosažení provozních stavů chladiva. Současná tepelná čerpadla jsou dle tohoto hlediska rozdělena do dvou kategorií:

- Kompresorová tepelná čerpadla – kdy je k nárůstu tlaku chladiva využít mechanický kompresor. Jedná se o nejčastější řešení tepelných čerpadel.
  - Absorpční tepelná čerpadla – ke změně parametrů chladiva je využíván princip absorpce par chladiva v absorbentu, zvýšení tlaku takto vzniklé „směsi“ čerpadlem a následná desorpce chladiva z absorbentu v důsledku působení tepla. Jedná se o méně častý princip, neboť k desorpci je potřeba použít teplo o vyšší teplotní hladině, které je v případě dostupných tepelných čerpadel dosahováno použitím plynového kotle. Ve své podstatě se tedy jedná spíše o plynový kotel, jehož efektivnost je v určitých provozních režimech zvýšena o teplo, získané z okolního prostředí.
2. Provedení tepelného čerpadla – rozlišuje tepelná čerpadla podle umístění jednotlivých komponent chladicího okruhu na:
- Kompaktní (monobloková) – kdy jsou veškeré komponenty umístěny v rámci jednoho zařízení.
  - Split systémy – kdy jsou komponenty umístěny do dvou jednotek, které jsou navzájem propojeny chladivovým potrubím. Jedna jednotka se přitom stará o odebrání tepla z okolního prostředí a druhá jednotka o dodávku tepla do místa spotřeby.
3. Způsob regulace výkonu – podle toho, jak je zajištěna regulace potřebného výkonu, rozlišujeme tepelná čerpadla:
- ON/OFF – tepelné čerpadlo je buď zapnuto, nebo vypnuto. Dodávaný výkon je tak buď 100%, nebo nulový. Požadovaného výkonu je dosaženo poměrem času zapnutí/vypnutí tepelného čerpadla. Tato čerpadla je nutno doplnit o akumulaci nádobu, která zajistí, aby se tepelné čerpadlo nespínalo příliš často (max. 6krát za hodinu).
  - Proměnnými otáčkami kompresoru – u těchto čerpadel je výkon řízen změnou otáček kompresoru, a čerpadla jsou tak schopna přizpůsobit svůj výkon aktuálním podmínkám v přibližném rozsahu 12,5 % – 100 % výkonu. Konkrétní rozsah regulace výkonu je závislý na použité technologii motoru kompresoru a frekvenčním měniči. Tato technologie je výrobcem označována jako Inverter, případně DC Inverter, když je využito elektronicky komutovaných DC motorů. Použití akumulaci nádrže u tohoto systému není nezbytné, je však řadou výrobců doporučeno, neboť akumulaci nádrž zvyšuje plynulost regulace a tím i efektivnost tepelného čerpadla.
4. Zdroj tepla a médium zásobníku – podle média, ze kterého je teplo odebráno, rozlišujeme tepelná čerpadla vzduchová, zemní a vodní. Na straně zásobníku jsou používány médii voda, případně vzduch. Tepelná čerpadla se podle tohoto kritéria nejčastěji dělí na tepelná čerpadla:
- Vzduch/vzduch – kdy zdrojem tepla je venkovní vzduch a teplo je přiváděno přímo vzduchu ve vytápěných prostorách. Jedná se v podstatě o klimatizaci, která je schopna práce v režimu vytápění.
  - Vzduch/voda – teplo je odebráno okolnímu, popř. odpadnímu vzduchu a předáno vodě, která je využívána jako otopná (rozvedena do otopných ploch), případně použita jako teplá voda.
  - Země/voda – zdrojem tepla je zemský povrch. Teplo je odebráno pomocí kolektorů, případně vrtů a přiváděno vodě, která slouží jako topné médium.
  - Voda/voda – teplo je odebráno z povrchových, popř. podpovrchových vod a je předáno topné vodě.

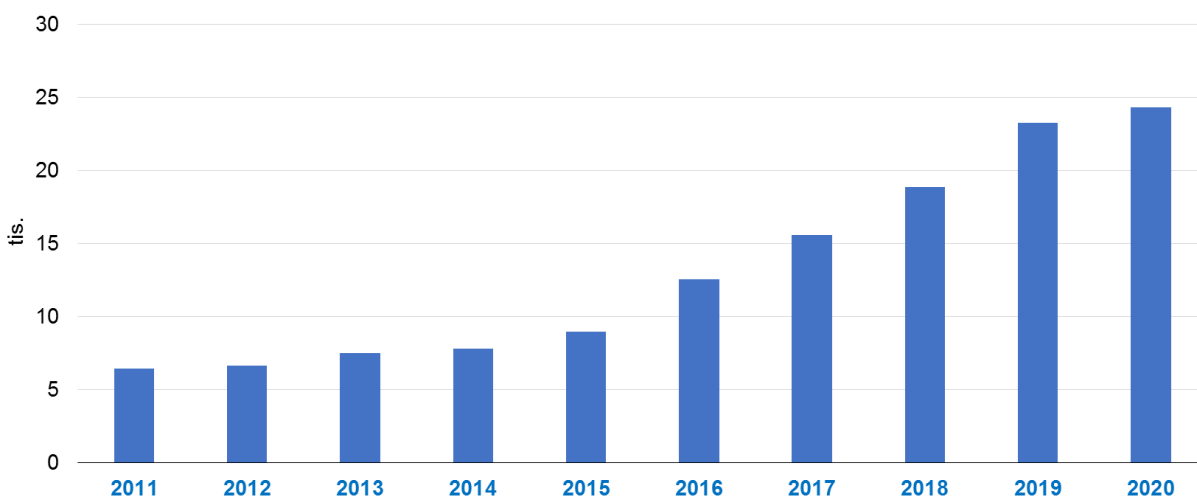
Vývoj prodeje tepelných čerpadel v rámci EU zachycuje **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** a vykázané prodeje tepelných čerpadel v ČR **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Hlavním zdrojem tepla pro tepelná čerpadla je vzduch, kdy z celkového počtu tepelných čerpadel, prodaných v roce 2020, představují dle statistik EHPA vzduchová tepelná čerpadla v rámci EU 78 %, v České republice pak dokonce 94 %.

**Obrázek 2.3 Prodej tepelných čerpadel v EU za období 2011–2020**



Zdroj: EHPA 2021

**Obrázek 2.4 Prodej tepelných čerpadel v ČR za období 2011–2020**



Zdroj: EHPA 2021

## 2.4 Řešení klimatizací v současnosti

Stejně jako tepelná čerpadla prošly i systémy klimatizací za poslední desetiletí určitým vývojem. V současnosti jsou dominantní dva směry při realizaci chlazení budov. Prvním je využití chladivových systémů, kdy je ve venkovním prostředí umístěna venkovní jednotka, která je chladivovým potrubím propojena s vnitřní jednotkou, která je umístěna v klimatizovaném prostoru. Druhým směrem je hydronický systém, který využívá tzv. chiller a fan-coil jednotky. V chilleru je vyráběna chladná voda (případně s příměsí glykolu), která je rozváděna po budově do vnitřních jednotek tzv. fan-coilů, což jsou jednotky sestávající z tepelného výměníku a ventilátoru. Chiller, který je primárně určen na výrobu

chladné vody, může být vybaven reverzibilní funkcí a v případě potřeby fungovat jako tepelné čerpadlo vzduch/voda. Stejně tak lze použít jako zdroj chladu i tepelné čerpadlo přepnuté do reverzibilního režimu, což se s výhodou využívá u tepelných čerpadel země/voda, kdy v období chlazení je zdrojem chladu vrt předchlazený v průběhu otopné sezóny, který je v reverzibilním režimu postupně „regenerován“, a tak připraven na další otopnou sezonu.

Podobně jako tepelná čerpadla můžeme i klimatizace rozdělit podle různých kritérií. U klimatizací, využívajících proudění chladiva, je to hlavně dělení podle konstrukce na:

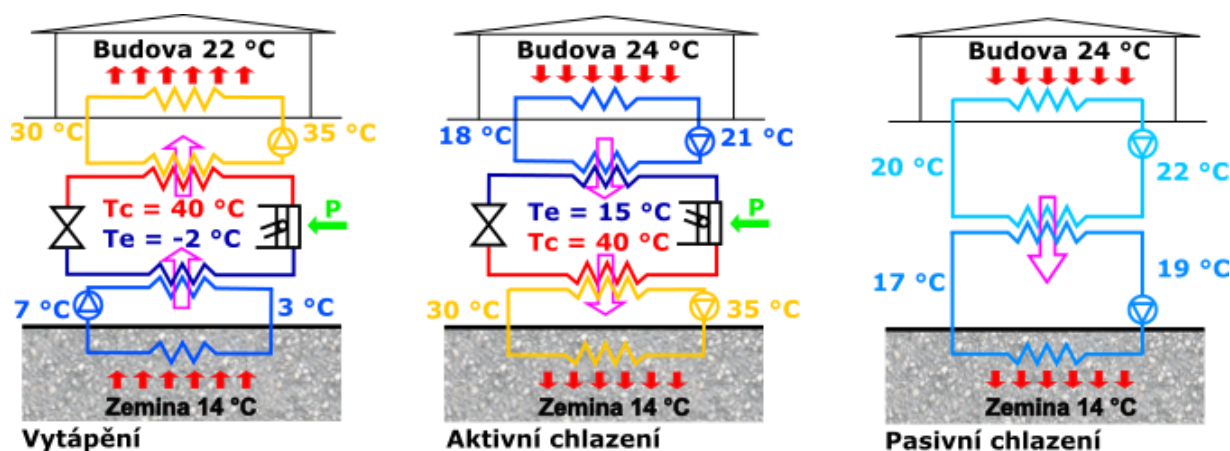
- Monoblokové jednotky – veškeré komponenty v jednom zařízení. Zařízení je většinou umístěno v otvorové výplni mezi vnitřním a vnějším prostředím (okenní jednotky), nebo s vnějším prostředím propojeno, např. hadicí (mobilní klimatizace).
- Split jednotky – zařízení se skládá z venkovní a vnitřní jednotky. Venkovní jednotka obsahuje většinu komponent chladicího okruhu. Do vnitřní jednotky je tak přiváděno již chladivo o nízkém tlaku, které následně odebírá teplo chlazenému prostoru. Každá vnitřní jednotka má svou venkovní jednotku. Split systémy se mohou dodávat i v reverzibilním provedení, které umožňují také vytápění (tepelné čerpadlo vzduch/vzduch). Jedná se o nejčastější řešení klimatizace v obytných místnostech.
- Multi Split jednotky – je obdoba split jednotky, určená pro objekty s více klimatizovanými prostory. Obdobně jak u split systému je většina komponent umístěna ve venkovní jednotce a ke každé vnitřní jednotce je potrubí s chladivem o nízkém tlaku přivedeno zvlášť (kolik je vnitřních jednotek, tolik je potrubí). Multi split systémy jsou realizovány do 5 vnitřních jednotek. V posledních letech se objevují systémy High Power Multi Split, určené až pro 9 vnitřních jednotek, kdy z venkovní jednotky je rozváděno chladivo o vysokém tlaku (v kapalném stavu) a expanzní ventily jsou umístěny ve společném boxu pro jednu větev. Do vnitřní jednotky tak opět vstupuje chladivo o nízkém tlaku. Také tyto systémy je možné dodat ve variantě s reverzním ventilem, a tedy vhodné k topení. Všechny jednotky však mohou buď topit, nebo chladit. Smíšený provoz není možný.
- VRV/VRF systémy – jsou nejdokonalejším systémem s přímým rozvodem chladiva, který se užívá ve velkých budovách. Jedná se o zdokonalenou variantu High Power Multi Split, kdy je zkapalněné chladivo přivedeno až k vnitřní jednotce. Expanzní ventil je v tomto případě součástí jednotky, a umožňuje tak individuální regulaci teploty v místnosti. Venkovní jednotka bývá vybavena reverzním ventilem pro možnost vytápění. Současné systémy VRV/VRF jsou schopny provozu i ve smíšeném režimu, kdy se část prostor chladí a jiná ohřívá. Venkovní jednotka následně vyrovnává „poptávku“ po teple či chladu. Počet vnitřních jednotek je omezen výkonem, venkovní jednotky délkou použitých potrubí a převýšením mezi vnitřními a venkovní jednotkou.

V případě klimatizačních systémů s rozvodem chladicí vody je základem vnitřní jednotka fan-coil, do které je tato voda (obvykle s teplotou 6–8 °C) přiváděna. Voda je vyráběna v externím zdroji chladu – chilleru. V současné době se používají tři provedení zdroje chladu:

- Kompresorové chladicí zařízení – jedná se o kompaktní zařízení, využívající kompresorový chladicí oběh, které vyrábí chlazenou vodu a získané teplo odvádí do okolního prostředí. Podle požadavků lze toto zařízení doplnit dalšími „moduly“, které umožňují využít odpadní teplo k přípravě teplé vody, případně jsou zcela reverzovatelné, a ve své podstatě se tak jedná o tepelná čerpadla vzduch/voda.
- Tepelná čerpadla země/voda umožňují produkovat chlad jak v aktivním, tak pasivním režimu. Při aktivním režimu chlazení dochází k reverzaci oběhu tepelného čerpadla, čímž je teplo odebíráno chladicí vodě a dodáváno do země, přičemž dochází k žádoucí regeneraci „zeminy“

a akumulaci tepla pro zimní provoz. Pasivní režim chlazení je realizován bez provozu kompresorového chladicího okruhu, a je tedy ekonomicky výhodnější, byť méně účinný. Při pasivním režimu je chlad odebrán přímo ze zemních výměníků, nebo energetických pilotů, které jsou po předchozí topné sezóně „vychlazené“. Získaný chlad je přes tepelný výměník předán chladicí vodě/vzduchu. Dosažitelné teploty chladicí vody jsou při tomto způsobu chlazení 12–16 °C, což nabízí dostatečný teplotní spád pro chlazení prostor pomocí Fan-coilových jednotek nebo velkoplošných chladicích systémů. Při využívání pasivního chlazení dochází k pozvolnému nárůstu teploty zeminy, a tím i k postupnému snižování dostupného chladicího výkonu. V případě, že je výkon pasivního chlazení již nedostatečný, přepíná systém do aktivního chladicího režimu.

Obrázek 2.5 Provozní režimy tepelného čerpadla země/voda



Zdroj: clausius, Universida de Vigo

Absorpční chillery – využívají se tam, kde je k dispozici dostatečné množství odpadního tepla o vyšší teplotní úrovni, aby bylo možné zajistit desorpci chladiva z absorbentu. Tento systém tak nachází uplatnění zejména v systémech kombinované výroby elektřiny a tepla, tzv. kogeneraci, jenž se v případě doplnění o výrobu chladu označuje jako trigenerace. V posledním desetiletí probíhají výzkumy, jejichž cílem je získat dostatečnou teplotní úroveň s využitím solárních termických panelů, a vytvořit tak systém solárního chlazení.

Další rozdělení chladicích zařízení je obdobně jako u tepelných čerpadel na základě možnosti regulace výkonu kompresoru venkovní jednotky na ON/OFF systémy či systémy s proměnnými otáčkami kompresoru (invertory či DC invertory).

## 3 Legislativní úprava

### 3.1 Úroveň EU

Tepelná čerpadla jsou podporována v rámci evropských politik, a to z důvodu výrazných kvantitativních úspor primární energie skrze využití ekologičtější technologie. V prioritizaci těchto zařízení se EU opírá o data expertů, jako např. EHPA. Ta uvádí, že 40 % obytných a 65 % komerčních budov Evropské unie by měla být do r. 2030 vytápěna elektrickou energií. Pro dosažení tohoto výsledku je ale nevyhnutné, aby se počet tepelných čerpadel v následující dekádě zčtvásobil. Aktuální počet tepelných čerpadel vytápějících soukromé i komerční budovy (13,3 mil.) by tak na základě dané prognózy nestačil a měl by místo toho dosahovat hodnot nejméně 50 miliónů zařízení<sup>1</sup>.

Tepelná čerpadla a možnosti jejich využití jsou tedy Evropskou komisí zahrnuta do více významných evropských dokumentů. V roce 2016 byla vydána *Strategie pro vytápění a chlazení COM (2016) 51*, která představuje rámec pro integrování efektivního vytápění a chlazení do energetické politiky EU. Strategie zmiňuje tepelná čerpadla v souvislosti s renovací budov, a to vzhledem k jejich potenciálu dosáhnout značné energetické úspory. Daná studie analyzovala také dálkové vytápění a chlazení a elektrifikaci vytápění prostřednictvím tepelných čerpadel. TČ byla v posuzování účinnosti nových zařízení pro vytápění vnitřních prostor hodnocena A++.

Tepelných čerpadel se okrajově dotýká také projekt Heat Roadmap Europe 1-4 (HRE). HRE je série 18 reportů publikovaných mezi roky 2012–2018 sledující dlouhodobé změny, které jsou nevyhnutelné pro dekarbonizaci sektoru vytápění a chlazení. Výstupy z projektu představují *Heat Roadmap Europe 2050*, která byla publikována Evropskou komisí, a zprávy *Heat Roadmaps* pro 14 členských států EU, včetně ČR.

Roadmap reflektuje evropské cíle do roku 2050 a analyzuje současný stav EU, dává výhled do budoucna a vytváří sedm scénářů vývoje. Roadmap Europe z r. 2012 usuzuje, že v případě rostoucího objemu vytápění prostřednictvím CZT bude potřebné zapojit do systému také velká TČ. Budoucí dodávky elektrické energie v Evropě budou vzhledem k velkému objemu zelené energie závislé na inteligentních systémech, které dokáží vyrovnávat nabídku a poptávku. TČ byla zhodnocena jako důležitý prvek těchto systémů, spolu s tepelnými zásobníky a elektrickými kotly mohou absorbovat kritickou nadbytečnou výrobu elektřiny v městských oblastech, zatímco teplárny na bázi kogenerace mohou v případě energetických deficitů aktivně zajišťovat dodávky elektřiny. Roadmap z r. 2018 považuje TČ za jeden ze tří pilířů dekarbonizace teplárenského sektoru a formuluje také decentralizovaný způsob využití čerpadel ve venkovních oblastech, kde by mohly nahradit kotle na fosilní paliva.

Nepřehlédnutelný význam má pro technologii tepelných čerpadel také rámcový evropský dokument *Zelená dohoda pro Evropu* (European Green Deal EGD). Význam této legislativy spatřuje také Evropská asociace pro tepelná čerpadla, která ve své tiskové zprávě vyjadřuje nutnost větší podpory čerpadel pro dosažení cílů dohody. Ze 4 hlavních kroků iniciativy je pro budoucnost čerpadel významný cíl klimatické neutrality do r. 2050, směřování financí k podporování ekologicky udržitelných investic, klimatický zákon (předložený v březnu 2020), nebo také podpora konkurenceschopnosti, ekologizace a digitalizace průmyslu a obchodu Evropy. Zelená dohoda díky významné uhlíkové zátěži teplárenského sektoru klade na dekarbonizaci stejný důraz jako např. na dopravu. Technologii tepelných čerpadel hodnotí vzhledem k její spolehlivosti, dostupnosti a efektivitě jako prostředek na dosažení tohoto cíle.

Tepelných čerpadel se týkají také **nařízení o ekodesignu výrobků**. To slouží jako nástroj pro zvyšování účinnosti skupin výrobků, které mají významnou energetickou spotřebu. Počátečními právními

---

<sup>1</sup> Daný výpočet nezahrnuje průmyslovou poptávku po elektrické energii.



dokumenty, kterými se na evropské rovině zastřešovala tepelná čerpadla, se již v r. 2013 staly Nařízením Komise 811 až 814 [4–7]). Ta předepsala pravidla pro energetické štítkování a uvádění výrobků, které se nějakým způsobem podílí na produkci skleníkových plynů v EU, což zahrnuje také TČ. Cílem těchto nařízení bylo, aby výrobky s tepelným čerpadlem dostály požadavkům na minimální energetickou účinnost a maximální hladinu akustického výkonu. Nařízení Komise 813/2013 a 2016/2281 ustanovila definice pro existující kategorie tepelných čerpadel, klimatizací a chladičů (předpis o ekodesignu ENER Lot 1). Komise tímto způsobem jasně rozlišila mezi systémy klimatizací a tepelných čerpadel a upřesnila tak požadavky na ekodesign pro oba systémy, které nebyly zahrnuty do Nařízení (EU) č. 206/2012. Nařízení týkající se čerpadel ustanovují sezónní limity energetické efektivity, s přihlédnutím k výkyvům teploty venkovního vzduchu v průběhu roku. Hodnoty sezónní energetické účinnosti jsou navíc vyjádřeny procentuálně, a to formou referenční roční poptávky po teple s ohledem na roční spotřebu energie. Daná hodnota je následně upravena převodním koeficientem.

ENER Lot 1 tak stanovuje minimální požadavky pro prostorová výtopní zařízení a kombinovaná topná tělesa se jmenovitým tepelným výkonem  $\leq 400$  kW. Limity a termíny pro každý typ tepelného čerpadla v dané kategorii jsou uvedeny v následující tabulce:

**Tabulka 3.1 ENER Lot 1**

Minimální sezónní energetická účinnost vytápění prostor		
	od období 26. září 2015	od období 26. září 2017
Ohřivače prostoru s tepelným čerpadlem		
Kombinované ohřivače tepelných čerpadel, kromě nízkoteplotních tepelných čerpadel	100 %	110 %
Nízkoteplotní tepelná čerpadla	115 %	125 %

*Zdroj: carel.com*

V roce 2014 byla doplněna původní Nařízení také dvěma sděleními EK - Sdělení Komise 2014/C 207/02 a Sdělení Komise 2014/C 207/03. Ty hlouběji zpřesňují příslušné normy a určují výpočtové postupy pro stanovení sledovaných parametrů. V roce 2017 se zpřísnily požadavky na energetickou účinnost tepelných čerpadel, o rok později také požadavky na hluk.

Nařízení Komise 2016/281 ENER Lot 21 ustanovuje limity pro další produktové kategorie, konkrétně pro tepelná čerpadla vzduch/vzduch a střešní tepelná čerpadla. Minimální sezónní hodnoty energetické účinnosti pro vytápění prostorů, které musí být splněny, jsou uvedeny v tabulce níže<sup>2</sup>.

**Tabulka 3.2 ENER Lot 21**

Minimální sezónní energetická účinnost vytápění prostor		
	od období 1. ledna 2018	od období 1. ledna 2021
Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch poháněné elektromotorem (kromě střešního tepelného čerpadla)	133 %	137 %
Střešné tepelné čerpadlo	115 %	125 %
Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch poháněné spalovacím motorem	120 %	130 %

*Zdroj: carel.com*

Některá nařízení se dotýkají tepelných čerpadel jenom okrajově. Nařízení Komise 1253/2014 se primárně zabývá podmínkami ekodesignu pro větrací jednotky. Na tepelná čerpadla se odkazuje jenom

<sup>2</sup> Hodnota sezónní energetické účinnosti vytápění vyšší než 100 vyjadřuje vyšší účinnost daného čerpadla oproti standardnímu čerpadlu.

s ohledem na zařízení s odvětráváním pro účely ohřevu vzduchu, a to jenom kvůli možným ztrátám tlaku. Tepelných čerpadel se týkají také nejnovější nařízení pro ekodesign elektrických motorů, která vstoupila v platnost v červenci 2021. Vztahují se na indukční motory se střídavým proudem, které využívají právě i tepelná čerpadla. Nová pravidla tak nahrazují původní z r. 2009, přičemž nově pokrývají motory s rozsahem od 0,12 kW do 1000 kW.

Na základě různých typů čerpadel specifikovaných v Nařízení Komise 811/2013 a EU 812/2013 byla sestavena metrika **energetického štítkování** spolu s požadavky na jeho zkoušení. Energetické štítkování se odvíjí od kategorií energetické účinnosti A–G, do kterých se výrobky řadí na základě dosažené sezónní energetické účinnosti vytápění. Nařízení Komise 811/2013 je určeno pro označování zdrojů tepla pro vytápění a kombinovaných zdrojů tepla pro vytápění a přípravu teplé vody a rozlišuje mezi běžným tepelným čerpadlem a nízkoteplotním. Nařízení Komise 812/2013 se zabývá štítkováním zdrojů tepla pro přípravu teplé vody. První požadavky byly specifikovány v září 2015, všeobecně pro zdroje tepla pro vytápění vnitřních prostor a zařízení pro přípravu teplé vody. Jelikož tepelná čerpadla spotřebovávají pro svůj provoz elektrickou energii, dané požadavky se vztahovaly také na tepelná čerpadla a ohřívače vody na bázi tepelných čerpadel.

Je důležité zmínit, že se předpisy o ekodesignu a energetických štítcích na prostorové a kombinované ohřívače vzájemně liší. Zatímco nařízení o ekodesignu ENER Lot 1 pokrývá výrobky s výkonem do 400 kW, nařízení o energetických štítcích pokrývá výrobky s výkonem do 70 kW.

První fáze tohoto nařízení vstoupila v platnost 26. září 2015, kdy se energetický štítek stal povinný pro třídy čerpadel A++ až G. Štítky se v této fázi zároveň liší dle druhu čerpadla. Druhá fáze vstoupila v platnost 26. září 2019, kdy se zredukovalo označení tříd a nově končí u písmena D. Stejně jako v předchozí fázi mají ohřívače prostoru s tepelným čerpadlem odlišné štítky než nízkoteplotní ohřívače nebo kombinované ohřívače s tepelným čerpadlem. Štítek s novými třídami energetické účinnosti je uveden níže spolu s odpovídajícími kategoriemi podle sezónní energetické účinnosti vytápění ( $\eta_s$ ).

**Tabulka 3.3 Energetické štítkování pro tepelná čerpadla na ohřev prostoru**

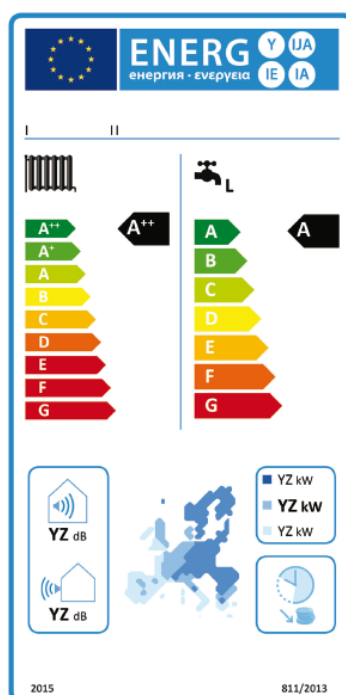
Třída energetické účinnosti	$\eta_s$ (%)
A+++ (nejefektivnější)	$\eta_s \geq 150$
A++	$125 \leq \eta_s < 150$
A+	$98 \leq \eta_s < 125$
A	$90 \leq \eta_s < 98$
B	$82 \leq \eta_s < 90$
C	$75 \leq \eta_s < 82$
D	$36 \leq \eta_s < 75$
E	$34 \leq \eta_s < 36$
F	$30 \leq \eta_s < 34$
G (nejméně efektivní)	$\eta_s < 30$

Zdroj: carel.com

**Tabulka 3.4 Energetické štítkování pro nízkoteplotní čerpadla pro ohřev prostoru**

Třída energetické účinnosti	$\eta_s$ (%)
A+++ (nejefektivnější)	$\eta_s \geq 175$
A++	$150 \leq \eta_s < 175$
A+	$123 \leq \eta_s < 150$
A	$115 \leq \eta_s < 123$
B	$107 \leq \eta_s < 115$
C	$100 \leq \eta_s < 107$
D	$61 \leq \eta_s < 100$
E	$59 \leq \eta_s < 61$
F	$55 \leq \eta_s < 59$
G (nejméně efektivní)	$\eta_s < 55$

Zdroj: carel.com

**Obrázek 3.1 Energetický štítek pro kombinovaná tepelná čerpadla**

Zdroj: tzb-info.cz

Štítky kombinovaných tepelných čerpadel mají také uvedenou třídu pro aplikace se středními teplotami a zahrnují energetickou třídu pro ohřev vody. Jinak se třídy energetického účinnosti shodují s třídami pro tepelná čerpadla na ohřev prostoru. Na základě Nařízení EK z r. 2017 došlo ke změně štítkovačích kategorií. Nova metrika počítá s kategoriemi v rozmezí písmen A až G, vyjma třídy A++ až A+. Pro tepelná čerpadla se ovšem tato nová metrika štítků zavádí až v období 2026–2030.

Z mezinárodních standardů jsou pro systémy klimatizací, chlazení a vytápění pomocí tepelných čerpadel nejrelevantnější produktové standardy EN 378 z roku 2016 a EN 60335-2-40 z roku 2018.

## 3.2 Úroveň ČR

Z pohledu státní správy jsou tepelná čerpadla právně ukotvena v strategických dokumentech, např. ve *Státní energetické koncepci* (2015), která podporuje záměnu stávajících systémů za tato zařízení, nebo ve *Vnitrostátním plánu ČR v oblasti energetiky a klimatu* (2019), který v oblasti OZE očekává jejich rozvoj a upřesňuje využití čerpadel spolu s jejich potenciálem pro budoucí výzkum.

Z pohledu české legislativy jsou tepelná čerpadla a proces jejich instalace a užívání upraveny v rámci právních ustanovení, přesněji se jedná o:

zákon č. 458/2000 Sb., energetický zákon a související předpisy,

zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií a související předpisy, upravuje práva a povinnosti držitele licence a odběratele,

zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích,

zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon),

zákon č. 61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě,

zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí,

zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů,

zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů a zákon č. 544/2020 Sb., kterým se mění zákon č. 254/2001

cenová rozhodnutí ERÚ,

vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, technickým zařízením stavby.

Zákon č. 165/2012 Sb. se mimo jiné věnuje definici tepelného čerpadla jako výroby tepla a nároku na jeho podporu. Provozní podpora tepla se podle zákona nevztahuje na ty systémy s tepelnými čerpadly, jejichž provoz by „zhoršil celkovou průměrnou roční účinnost stávajících soustav zásobování tepelnou energií“<sup>3</sup>. Tímto způsobem tak má zákon přímý vliv na výši poskytnuté podpory a na podmínky její zisku. Zároveň je jako podmínka čerpání investiční podpory pro výstavbu výroby tepla z tepelných čerpadel stanovené naplnění požadavek Evropské Komise pro tato zařízení. Subjektem, který každoročně zveřejňuje seznam tepelných soustav, kterých se toto nařízení týká, je ERÚ. Na úkony, jakým je např. realizace primárního okruhu tepelného čerpadla využívajícího energetický potenciál podzemní vody a horninového prostředí, se může vztahovat také bod 2.11 kategorie II, přílohy č. 1, k zákonu č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí. Tento zákon definuje pravidla realizace hloubkových geotermálních vrtů pro zásobování vodou u vodovodů pro veřejnou potřebu. Z důvodů možných dopadů činnosti na životní prostředí se tepelných čerpadel týká také Zákon č. 61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě. Hloubkové vrty pro čerpání termální vody k jejímu dalšímu využití, které čerpadla provozují, spadají pod definici „geotermálních hloubkových vrtů, s délkou nad 30 m a pro jiné účely než k činnostem uvedeným v § 2 a 3“, které daná právní norma upravuje<sup>4</sup>.

### 3.2.1 Získání povolení, investiční podpora a podmínky pro udělení dotace

Před samotnou investicí do tepelného čerpadla je potřeba absolvovat několik administrativních kroků. Když jde o oblast, ve které nejsou hydrogeologické poměry dostatečně známy, je zapotřebí nechat si

<sup>3</sup> Zákon č. 165/2012 Sb., § 25 odst. 5.

<sup>4</sup> Pro 1 kW topného výkonu zapotřebí aspoň 12 m hloubky vrtu. Vrty pro čerpadla jsou navíc standardně realizovány do hloubky až 80–250 m.

zpracovat hydrogeologický posudek. Následně je potřebné získat povolení k využití tepelné energie z podzemní vody na základě Zákona č. 254/2001 Sb. o vodách (změněn Zákonem č. 544/2020 Sb.). Tepelné čerpadlo nepředstavuje totiž jenom stavbu ve smyslu stavebního zákona, je totiž stavbou zasahující do geologického podloží dané oblasti, což může mít za následek vliv na podzemní vody. Paragraf 55 odst. 3 vodního zákona specifikuje, za kterých podmínek se jedná o tepelné čerpadlo. Hloubkové vrty pro tepelná čerpadla nejsou posuzovány podle kritérií tohoto zákona pokud „jejich realizací nemůže dojít k propojení hydrogeologických horizontů či výraznému ovlivnění hydrogeologických poměrů v území“<sup>5</sup>. Typ tohoto povolení se liší vzhledem ke způsobu využití energetického potenciálu tepelného čerpadla. Když se jedná o čerpání podzemních vod za účelem využití jejich tepelné energie, je nutné získat povolení vodoprávního úřadu k nakládání s podzemními vodami, vydávané na žádost a na dobu nejméně 30 let. V případě neodebírání podzemní vody čerpadlem (jenom její tepelné energie nebo tepla z horninového prostředí) je zapotřebí jenom souhlas vodoprávního úřadu. Na základě posudku hydrogeologa se zvažuje, zda je v oblasti nutné také zjišťovací řízení.

**Tabulka 3.5 Podmínky pro udělení dotací pro tepelná čerpadla**

	Podmínky pro umístění a realizaci projektu	Další náležitosti
Výkon čerpadla do 20 kW, nejde o vodní dílo	potřebný územní souhlas	
Výkon čerpadla nad 20 kW /jde o vodní dílo	potřebná žádost o vydání územního rozhodnutí a povolení stavby/potřeba uzavřít se stavebním úřadem veřejnoprávní smlouvu	potřebné řešit režim užívání stavby tepelného čerpadla – buď oznámením o záměru započít s užíváním stavby nebo prostřednictvím kolaudačního souhlasu; jde-li o vodní dílo, je potřebné řešit povolení stavby a její užívání s vodoprávním úřadem
Tepelné čerpadlo sloužící k výrobě tepla pro víc než jeden objekt jednoho zákazníka	potřebná žádost o udělení licence podle <b>energetického zákona (Zákon č. 458/2000 Sb.)</b>	

*Zdroj: Frank Bold Advokáti*

Další povinnosti vyplývají ze stavebního zákona, který hovoří o tepelném čerpadle jako o části stavby. Ten definuje kritéria pro umístění a realizaci tepelných čerpadel, přičemž povolení pro umístění je potřebné prakticky u všech čerpadel s primárním okruhem<sup>6</sup>. Výsledné řešení se odvíjí od povahy zařízení a jeho celkového výkonu. Podle paragrafu 76 odst. 1 lze umisťovat stavby nebo zařízení, jejich změny, měnit vliv jejich užívání na území, měnit využití území a chránit důležité zájmy v území jen na základě územního rozhodnutí nebo územního souhlasu, nestanoví-li zákon jinak. Pouze územní souhlas na realizaci postačuje v případě, že nejde o vodní dílo.

Výše podpory záleží na druhu nového kotle. Na elektrická a plynová tepelná čerpadla, která spadají do min. energetické třídy A+ a splňují parametry dle nařízení EK č. 813/2013, lze čerpat podporu ve výši 130 000 českých korun. Podporu je možné využít na výměnu elektrického vytápění za systém s tepelným čerpadlem s elektrickým pohonem.

Program Nová zelená úsporám se zaměřuje na úsporu energie v rodinných domech s cílem zvýšit energetickou účinnost budov a snížit emise skleníkových plynů a jiných znečišťujících látek. Daný

<sup>5</sup> Zákon č. 254/2001 Sb., § 55 odst. 3.

<sup>6</sup> Instalace tepelného čerpadla se řídí podle § 76 odst. 1 stavebního zákona (183/206 Sb., zákon o územním plánování a stavebním řádu).

program pokrývá také tepelná čerpadla, je tedy možné na ně čerpat podporu např. ve formě podpory pro výměnu elektrického vytápění za systém s tepelným čerpadlem a elektrickým pohonem. Podporu ve formě dotace je možné čerpat pro instalace, které byly realizovány od 1. ledna 2021, a to ve výši 50 % ze způsobilých výdajů a maximální výši až 80 000 Kč.

## 4 Energetická účinnost

Při posuzování energetické náročnosti a dosažitelnosti úspor je nutno vyjít ze základních principů funkce zařízení.

### 4.1 Princip činnosti chladicího zařízení/tepelného čerpadla

Ideálním termodynamickým cyklem pro stavbu jakéhokoliv tepelného stroje je Carnotův cyklus, sestavený ze 4 vratných dějů. S využitím tohoto cyklu by stroj pracující mezi dvěma teplotními hladinami dosáhl maximální termické účinnosti. Tento cyklus je však prakticky neproveditelný, a tak se reálná zařízení snaží alespoň tomuto cyklu přiblížit. Účinnost Carnotova cyklu, kterou lze definovat pouze na základě teploty teplého ( $T_t$ ) a studeného zásobníku ( $T_s$ ), se v případě chladicích zařízení a tepelných čerpadel využívá pro stanovení limitních hodnot efektivnosti zařízení, tzv. parametru COP (Coefficient of Performance), který je s využitím Carnotova cyklu definován pro:

Chladicí zařízení – u kterých se COP také označuje jako EER (Energy Efficiency Ratio)

#### Rovnice 4.1 Výpočet COP pro chlazení

$$COP_{C,chlazení} = EER_c = \frac{\text{Odvedené teplo}}{\text{Příkon}} = \frac{T_s}{T_t - T_s}$$

Tepelné čerpadlo

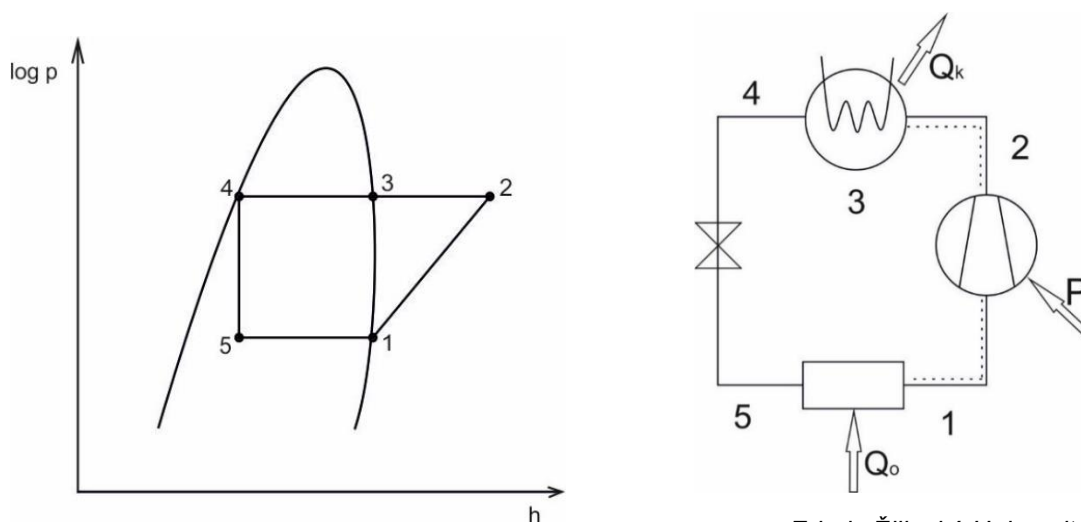
#### Rovnice 4.2 Výpočet COP pro vytápění

$$COP_{C,topení} = \frac{\text{Přivedené teplo}}{\text{Příkon}} = \frac{T_t}{T_t - T_s}$$

Přičemž hodnoty teplot  $T_t$  a  $T_s$  jsou zadávány v absolutních jednotkách, tedy v Kelvinech.

Pracovní cyklus, který je využíván u současných chladicích zařízeních a u tepelných čerpadel, je obrácený Rankin – Clausiův cyklus. Jedná se o pracovní cyklus, využívající skupenskou změnu pracovní látky (chladiwa), díky čemuž dochází k přívodu a odvodu tepla za konstantní teploty, obdobně jako u Carnotova cyklu. Aby bylo možné pracovní cyklus realizovat jako uzavřený, musí v průběhu cyklu pracovní látka změnit dvakrát skupenství, v důsledku čehož je odváděno teplo při teplotě studeného zásobníku  $T_s$  a dodáváno teplo při teplotě teplého zásobníku  $T_t$ . To je možné pouze za předpokladu, že dojde mezi změnami skupenství ke změně tlaku. Podle způsobu změny tlaku chladiwa se současná chladicí zařízení dělí na kompresorová a absorpční.

Současná tepelná čerpadla využívají ve většině elektrický kompresor, a proto bude dále uvažováno pouze kompresorové chladicí zařízení, jehož termodynamický oběh je znázorněn na následujícím obrázku:

**Obrázek 4.1** Obrácený Rankin-Clausiiův cyklus

Zdroj: Žilinská Univerzita v Žilině

Chladivo je tedy stlačováno kompresorem ze stavu 1 do stavu 2, čímž dochází k nárůstu jeho tlaku a teploty. Kompresor při kompresi spotřebovává práci  $P$ . Stlačené chladivo je v plynném stavu. Jeho tlak odpovídá kondenzační teplotě vyšší, než je teplota okolního prostředí. Při průchodu tepelným výměníkem (kondenzátorem) tak dochází mezi body 2 a 4 k odvedení tepla do okolí a tím ke zkondenzování par chladiva. V kondenzátoru je do okolí odvedeno teplo  $Q_k$ . Po průchodu kondenzátorem je chladivo v kapalném stavu a mezi body 4 a 5 prochází expanzním ventilem, čímž dochází ke snížení jeho tlaku, který v bodě 5 odpovídá vypařovací teplotě nižší, než je teplota okolí. V následujícím tepelném výměníku (výparníku) tak mezi body 5 a 1 dochází k odpaření chladiva, přičemž je z okolního prostředí odebráno teplo  $Q_o$ . Na výstupu z výparníku je chladivo opět v plynném stavu a je nasáto kompresorem, čímž se celý cyklus uzavírá. Teplo odváděné kondenzátorem ( $Q_k$ ) je v ideálním případě rovno součtu tepla odebíraného výparníkem  $Q_o$  a příkonu kompresoru  $P$ .

**Rovnice 4.3** Výpočet tepla odváděného kondenzátorem

$$Q_k = Q_o + P$$

Pro skutečné chladicí zařízení je tak možné definovat výkonnostní parametr EER a COP následovně:

Chladicí zařízení (odvádí teplo z chlazeného prostoru)

**Rovnice 4.4** Výpočet výkonnostního parametru EER

$$EER = \frac{Q_o}{P} = \frac{h_1 - h_5}{h_2 - h_1}$$

Tepelné čerpadlo (přivádí teplo do okolního prostředí)

#### Rovnice 4.5 Výpočet výkonnostního parametru COP

$$COP = \frac{Q_k}{P} = \frac{h_4 - h_2}{h_2 - h_1}$$

Kde veličiny  $h_1$ ,  $h_2$  a  $h_4$  [kJ/kg] jsou hodnoty měrné entalpie chladiva v bodech 1, 2 a 4 pracovního cyklu, viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

Hodnoty faktorů EER a COP udávají poměr získané energie k energii vynaložené pro daný účel. Tento poměr však nemůžeme označovat jako účinnost, protože normálně je jeho hodnota větší než 1 (v praxi se hodnoty pohybují od 2 do 7). Je zřejmé, že tyto výkonnostní koeficienty jsou závislé na mnoha faktorech, zejména pak na provozních teplotách. V případě tepelného čerpadla se jedná o teplotu nízko-potenciálního zdroje a teplota zásobníku, do kterého tepelné čerpadlo dodává energii. U chladicího zařízení záleží na teplotě chlazeného prostoru (ta bývá chodem zařízení udržována na stabilní hodnotě) a teplotě okolního prostředí, do kterého je teplo dodáváno. Při práci s výkonovými parametry je tedy zapotřebí sledovat, za jakých podmínek byly hodnoty těchto parametrů stanoveny.

Standardní body, při kterých dochází k měření výkonových parametrů zařízení, jsou definovány ČSN EN 14511 a jsou vyjadřovány ve formě zkráceného zápisu, jak uvádí následující tabulka.

**Tabulka 4.1 Zkrácený zápis standardních bodů, při kterých dochází k měření výkonových parametrů zařízení**

Zdroj odnímaného tepla	Teplota zdroje °C	Médium dodávaného tepla	Teplota zdroje °C
A – vzduch	-5	A – vzduch	35
B – "solanka"	0	W – voda	35
W – voda	10		

*Zdroj: ČSN EN 14511*

Např. COP při podmínkách A-5/W35 značí, že daná hodnota COP odpovídá vstupní teplotě vzduchu do výparníku tepelného čerpadla -5 °C a teplota výstupní topné vody činí 35 °C. Obdobně B0/W35 znamená, že do výparníku tepelného čerpadla vstupuje teplotně kapalina „solanka“ o teplotě 0 °C a tepelné čerpadlo dodává topnou vodu 35 °C. U klimatizací pak parametr A27/A35 značí, že teplo bylo odebíráno ze vzduchu o teplotě 27 °C a dodáváno do okolního vzduchu o teplotě 35 °C.

Kromě pracovních podmínek má vliv na výkon tepelného čerpadla typ použitého chladiva, konstrukční návrh zařízení, regulace a další faktory. Zjistit přesnou hodnotu COP faktoru je možné měřením podle příslušné normy, avšak odhad výkonnosti lze uskutečnit pomocí různých srovnávacích cyklů a matematických přístupů.

## 4.2 Sezónní účinnost

Výkonnostní faktory COP a EER se stanoví pro normou předepsané podmínky. Takto stanovené parametry jsou vhodné pro porovnání efektivnosti zařízení mezi sebou, avšak z hlediska provozní náročnosti jsou nedostatečné, a to hlavně u zařízení, kde je zdrojovým nebo cílovým médiem vzduch. V průběhu roku dochází ke změnám vnějších teplot, čímž se mění teplotní úroveň zdroje, ze kterého tepelné čerpadlo odebírá energii, případně do kterého chladicí zařízení dodává energii, a tak zároveň dochází ke změně výkonnostních parametrů. Zařízení navíc nepracuje v průběhu roku při plném zatížení, ale v závislosti na potřebě tepla či chladu reguluje svůj výkon.



V praxi se proto používají sezónní výkonnostní faktory – SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio), případně SCOP (Seasonal Coefficient Of Performance), které vyjadřují provozní efektivitu zařízení v režimu chlazení nebo vytápění pro definované provozní a klimatické podmínky. Výpočet těchto faktorů je dán normou ČSN EN 14 825.

V případě tepelných čerpadel je pro výpočet SCOP použit vztah:

#### Rovnice 4.6 Výpočet Seasonal Coefficient Of Performance (SCOP)

$$SCOP = \frac{Q_H}{Q_{HE}}$$

kde  $Q_H$  [kWh] je referenční roční potřeba tepla a  $Q_{HE}$  [kWh] roční spotřeba elektrické energie.

Referenční potřeba tepla se počítá pro standardizovanou otopnou soustavu (teplota topné vody 35 °C nebo 55 °C) a standardizované klimatické podmínky. Výrobci tepelných čerpadel pro evropský trh musí uvádět na štítku zařízení tři SCOP faktory, každý pro jinou klimatickou oblast: průměrná oblast (klimatické podmínky odpovídající poloze města Štrasburk), teplejší oblast (klimatické podmínky pro město Atény) a chladnější oblast (klimatické podmínky pro město Helsinky). Pro tyto tři oblasti si výrobce tepelného čerpadla stanoví roční potřebu tepla, nebo jinými slovy jmenovitou tepelnou ztrátu budovy pro normou definované teploty venkovního vzduchu (-10 °C pro průměrnou klimatickou oblast, 2 °C pro teplejší a -22 °C pro chladnější).

Pro výpočet samotný se používá tzv. intervalová metoda. Jeden interval znamená počet hodin s příslušnou teplotou venkovního vzduchu, podle normy ČSN EN 14825, viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..** Pro každý interval se určí teplo potřebné k pokrytí ztrát budovy ( $Q_H$ ) a následně roční spotřeba energie ( $Q_{HE}$ ), která se skládá z energie určené pro pohon čerpadla v aktivním režimu, ve stavu s vypnutým termostatem, v pohotovostním režimu, v režimu úplného vypnutí a v režimu zahřívání skříně kompresoru.

#### Rovnice 4.7 Výpočet roční spotřeby energie

$$Q_{HE} = \frac{Q_H}{SCOP_{on}} + H_{TO} \cdot P_{TO} + H_{SB} \cdot P_{SB} + H_{CK} \cdot P_{CK} + H_{OFF} \cdot P_{OFF}$$

kde  $H$  představuje počet hodin pro stav dle indexu [h/rok],  $P$  příkon jednotky pro stav dle indexu [kW] a kde jednotlivé indexy značí:  $CK$  – zahřívání skříně kompresoru,  $OFF$  – vypnuté zařízení,  $SB$  – pohotovostní režim a  $TO$  – stav vypnutého termostatu.

Koeficient SCOP je následně možno zapsat vztahem:

#### Rovnice 4.8 Výpočet koeficientu SCOP

$$SCOP = \frac{Q_H}{\frac{Q_H}{SCOP_{on}} + H_{TO} \cdot P_{TO} + H_{SB} \cdot P_{SB} + H_{CK} \cdot P_{CK} + H_{OFF} \cdot P_{OFF}}$$

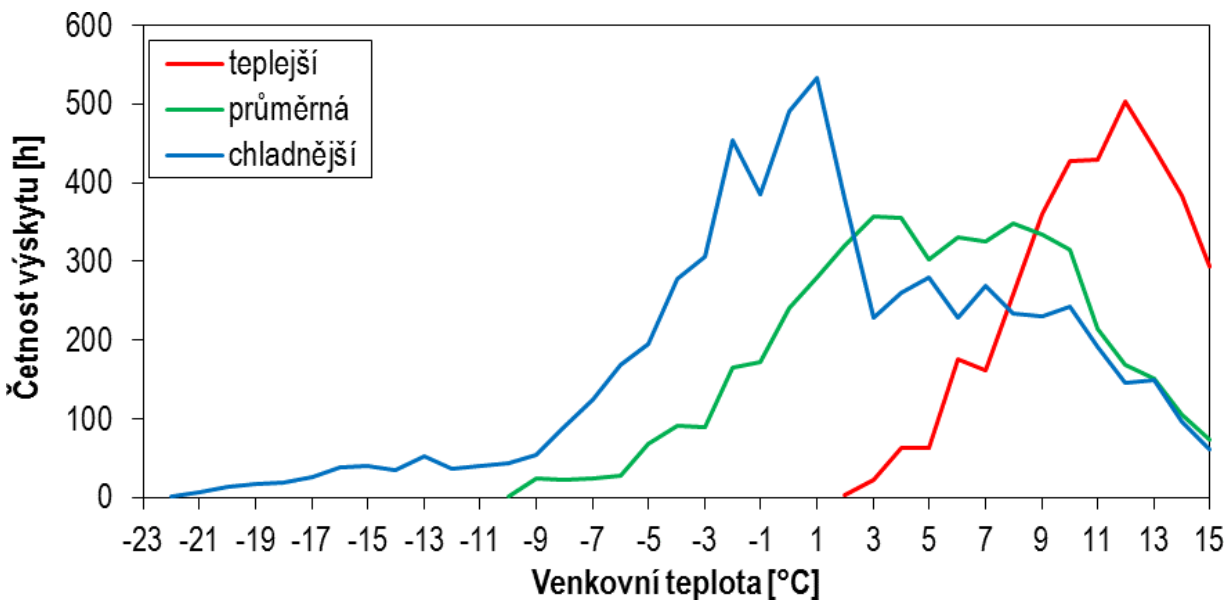
Spotřeba energie v aktivním režimu je dána poměrem roční spotřeby tepla ( $Q_H$ ) a sezónním výkonnostním faktorem pro zapnuté čerpadlo  $SCOP_{on}$ , který je stanoven podílem součtu potřeby tepla modelové budovy pro jednotlivé teplotní intervaly a sumy elektrických příkonů tepelného čerpadla a elektrického dohřevu v jednotlivých teplotních intervalech:

**Rovnice 4.9** Rovnice pro výpočet sezónního výkonostního faktoru pro zapnuté čerpadlo  $SCOP_{on}$

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

kde  $COP_{bin}(T_j)$  [-] je hodnota COP zařízení pro daný teplotní interval, definovaný teplotou  $T_j$ ,  $elbu(T_j)$  [kW] představuje potřebný výkon elektrického záložního ohřívače pro teplotu  $T_j$ ,  $h_j$  je počet hodin výskytu dané teploty v otopném období,  $P_h(T_j)$  [kW] je potřeba tepla pro vytápění budovy při venkovní teplotě  $T_j$ .

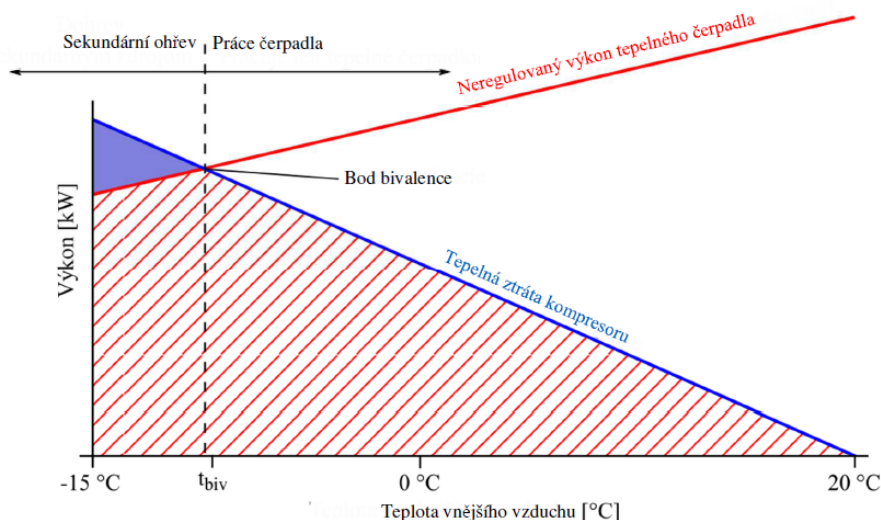
**Obrázek 4.2** Histogram venkovních teplot pro chladnější, průměrnou a teplejší oblast dle ČSN EN 14825



Zdroj: tzb-info.cz

Hodnoty potřeby tepla  $P_h(T_j)$  a příkonu dodatečného ohřívače  $elbu(T_j)$  vycházejí ze zvolené tepelné ztráty objektu, výkonu tepelného čerpadla a zvoleného bodu bivalence. Bivalentní bod je nejnižší teplota, při které je tepelné čerpadlo schopno zcela pokrýt potřebu tepla objektu – tepelné čerpadlo zde tedy teoreticky pracuje na plný výkon, viz obrázek 4.3.

**Obrázek 4.3** Bod bivalence



Zdroj: Žilinská Univerzita v Žilině

Teplotu bivalentního bodu volí při výpočtu SCOP pro certifikační účely výrobce tepelného čerpadla, přičemž její maximální hodnota je omezena normou na 2 °C pro průměrnou klimatickou oblast, 7 °C pro teplejší a -7 °C pro chladnější oblast. Při teplotách nad bivalentním bodem pracuje čerpadlo v režimu částečného zatížení - v cyklickém režimu. Bod bivalence je nutné korigovat výkonnostní faktor tepelného čerpadla ( $COP_{bin}(T_j)$ ) podle rovnice:

pro čerpadla dodávající energii do vzduchu

#### Rovnice 4.10 Výpočet výkonnostního faktoru tepelného čerpadla dodávajícího energii do vzduchu

$$COP_{bin}(T_j) = COP_d \cdot (1 - C_d \cdot (1 - CR_u))$$

pro čerpadla akumulující energii ve vodě

#### Rovnice 4.11 Výpočet výkonnostního faktoru tepelného čerpadla akumulujícího energii ve vodě

$$COP_{bin}(T_j) = COP_d \cdot \frac{CR_u}{C_c \cdot CR_u + (1 - C_c)}$$

kde  $COP_d$  [-] je výkonnostní koeficient při plném zatížení,  $C_d$ ,  $C_c$  [-] ztrátový součinitel (pokud není uveden, volí se 0,9) a  $CR_u$  [-] poměr tepelné ztráty a deklarovaného výkonu zařízení.

Pokud čerpadlo disponuje regulací výkonu (např. frekvenčním měničem na kompresoru), určí se výkonnostní koeficient pro částečné zatížení z hodnot naměřených výrobcem.

Z hodnoty parametru SCOP se následně určí sezónní energetická účinnost vytápění  $\eta_s$ , která je vztažena na spotřebu primární energie. Dle nařízení Komise EU 811/2013 se „sezónní energetická účinnost vytápění  $\eta_s$  vypočítá jako podíl sezónního topného faktoru SCOP a převodního koeficientu CC nebo sezónního koeficientu primární energie SPER, opravený o přínosy regulátorů teploty, a u ohřivačů pro vytápění vnitřních prostorů s tepelným čerpadlem voda/voda / solanka/voda a kombinovaných ohřivačů s tepelným čerpadlem o spotřebu elektrické energie jednoho či více čerpadel na spodní vodu.“ Tato účinnost je použita pro zařazení tepelného čerpadla do energetické třídy na energetickém štítku. Hodnota účinnosti je stanovena pomocí vzorce:

**Rovnice 4.12 Výpočet hodnoty účinnosti pro zařazení do třídy na energetickém štítku**

$$\eta_{s,label} = \frac{SCOP}{CC} - F_1 - F_2$$

kde  $CC$  [-] je faktor primární energie pro použitou energii pohonu tepelného čerpadla (v případě elektrického pohonu je pro výpočty dle metodiky EU použit  $CC = 2,5$ ), korekční faktor  $F_1$  reprezentuje ztráty způsobené regulačním systémem (obvykle  $F_1 = 3 \%$ ) a  $F_2$  ztráty způsobené oběhovými čerpadly zařízení (obvykle  $F_2 = 5 \%$ ).

Příklad výpočtu hodnoty  $SCOP_{ON}$  pro průměrnou oblast je uveden v následující tabulce:

**Tabulka 4.2 Výpočet hodnoty  $SCOP_{ON}$  pro průměrnou oblast**

Vnější teplota $T_j$ [°C]	Počet hodin $h$	Tepelná ztráta $P_h$ [kW]	Výkon TČ [kW]	Výkon dohřevu $elbu$ [kW]	$CR_u$	$COP_D$	$COP_{bin}$	Spotřeba elektřiny [kWh/h]	Spotřeba	
									Tepla $Q_H$ [kWh]	Elektřiny $Q_{HE}$ [kWh]
-10	1	10	7	3	1	3	3	6	10	6
-9	25	10	7,58	2	1	2,59	3	5	240	124
-8	23	9	7,68	2	1	2,68	3	4	212	102
-7	24	9	8	1	1	3	3	4	212	93
-6	27	8	8	1	1	3	3	3	228	90
-5	68	8	8	0	1	3	3	3	549	192
-4	91	8	8	0	1	3	3	3	700	232
-3	89	7	8	0	1	3	3	2	650	211
-2	165	7	8	0	1	3	3	2	1 142	363
-1	173	7	8	0	1	3	3	2	1 131	353
0	240	6	8	0	1	3	3	2	1 477	453
1	280	6	9	0	1	3	3	2	1 615	488
2	320	5	9	0	1	4	3	2	1 723	514
3	357	5	9	0	1	4	3	1	1 785	527
4	356	5	9	0	1	4	3	1	1 643	481
5	303	4	9	0	0	4	3	1	1 282	373
6	330	4	9	0	0	4	3	1	1 269	369
7	326	3	9	0	0	4	3	1	1 128	329
8	348	3	9,23	0	0	4,08	3	1	1071	315
9	335	3	9,32	0	0	4,17	3	1	902	269
10	315	2	9	0	0	4	3	1	727	223
11	215	2	10	0	0	4	3	1	413	133
12	169	2	10	0	0	4	3	1	260	89
13	151	1	10	0	0	5	3	0	174	67
14	105	1	10	0	0	5	2	0	81	38
15	74	0	10	0	0	5	1	0	28	21
Celkem									20 656	6 454
$SCOP_{ON} = 20\ 656 / 6\ 454 = 3,2$										

Zdroj: Žilinská Univerzita v Žilině

**4.3 Energetická náročnost vytápění tepelným čerpadlem**

Jak je z předchozích kapitol patrné, závisí energetická účinnost vytápění na řadě faktorů, přičemž nejvýznamnějšími faktory jsou teplota zdroje tepla a teplota spotřeby (dodávky) tepla.

Teplota zdroje tepla ovlivňuje vypařovací teplotu, kdy nižší teplota zdroje znamená potřebu nižší vypařovací teploty chladiva, a tedy i nižšího vypařovacího tlaku, což následně způsobuje pokles hustoty par chladiva. Jelikož je kompresor objemový stroj, nasává při nižších vypařovacích teplotách menší hmotnost chladiva, čímž dochází ke snížení tepla odváděného z okolí a výkon tepelného čerpadla klesá. Pro provoz tepelného čerpadla je tedy výhodnější vyšší teplota zdroje tepla.

Teplota spotřeby (dodávky) tepla naopak ovlivňuje kondenzační tlak chladiva, kdy s vyšší teplotou spotřeby tepla je nutno zvýšit kondenzační tlak par chladiva, aby došlo k přenosu tepla mezi chladivem a topným médiem. Zvýšení kondenzačního tlaku má za následek potřebu vyšší kompresní práce, což vede ke zhoršení výkonových parametrů. V důsledku vyššího výtlačného tlaku kompresoru také dochází k poklesu jeho dopravní účinnosti, neboť v mrtvém objemu kompresoru zůstává více chladiva, které následně expanduje, čímž dochází opět ke snížení hmotnostního toku chladiva oběhem a tím ke zhoršení výkonu celého zařízení. Pro efektivní provoz tepelného čerpadla je tedy vhodnější nižší teplota spotřeby (dodávky) tepla.

Důležitým parametrem při provozu tepelného čerpadla je také teplotní zdvih (rozdíl teplot zdroje a spotřeby tepla), kdy malý i příliš velký zdvih způsobují technické problémy při provozu kompresoru tepelného čerpadla (nedostatečné mazání, přehřívání kompresoru s následnou degradací oleje), čímž může při delším provozu v těchto oblastech dojít ke snížení jeho životnosti.

Na účinnost provozu tepelného čerpadla mají tedy hlavní vliv zdroj tepla a použitý systém spotřeby tepla (otopná soustava).

### 4.3.1 Zdroje tepla pro tepelná čerpadla

Nejčastějším zdrojem tepla pro tepelná čerpadla jsou přírodní zdroje, a to díky jejich relativně snadné dostupnosti a "neomezenému" množství. Dalšími zdroji tepla pro tepelná čerpadla jsou odpadní energie, které jsou s využitím tepelných čerpadel buď vráceny zpět do „procesu“, ve kterém odpadní teplo vzniklo, nebo jsou použity k jinému účelu.

#### 4.3.1.1 Přírodní zdroje tepla – vzduch

Vzduch je nejdostupnějším a prakticky neomezeným zdrojem tepla pro tepelná čerpadla. Z ekologického hlediska se jedná o nejvýhodnější druh tepelného čerpadla, protože není nutné významně zasahovat do přírody a energie odebírána ze vzduchu se do něj v podstatě vrací přes tepelné ztráty ohřívání objektu. Čerpadlo tak významně nenarušuje tepelnou rovnováhu okolí a je možné jej provozovat celoročně. Avšak v zimním období, kdy je potřeba dodávat nejvíce tepla, zásadně klesá efektivnost tepelného čerpadla kvůli nízké teplotě vzduchu. Při teplotním intervalu  $-5\text{ °C}$  až  $7\text{ °C}$  navíc dochází k namrzání výparníku od vzdušné vlhkosti a je nutné, aby bylo čerpadlo schopné fungovat na reverzní chod (oběh tepelného čerpadla se obrátí a ze zásobníku tepla je odebíráno teplo, kterým se rozmrazuje vnější tepelný výměník). Při teplotách nižších než  $-5\text{ °C}$  je množství vlhkosti ve vzduchu malé a námraza se netvoří. Čerpadla dokáží pracovat při teplotách venkovního vzduchu  $-20\text{ °C}$  (některá až do  $-25\text{ °C}$ ), jejich výkonnost je však poměrně malá. V podmínkách střední Evropy je proto topný systém třeba doplnit o další zdroj tepla, protože v zimních měsících není čerpadlo často schopné samostatně zajistit potřebnou energii pro pokrytí tepelných ztrát objektu.

Vzduchová tepelná čerpadla se vyrábějí v provedení:

**Vzduchu/vzduch** – u kterých je teplo odebíráno venkovnímu vzduchu a dodáváno vzduchu uvnitř budovy. Jedná se o nejrozšířenější druh tepelných čerpadel (zvláště v oblastech jižní Evropy a Asie). Výhodou těchto tepelných čerpadel je možnost reverzního chodu, díky čemuž lze tepelným čerpadlem v letním období chladit. Nevýhodou je, že vyrobenou tepelnou energii nelze výhodně akumulovat v zásobníku pro případ, kdy poptávka a výroba tepla nejsou v časovém souladu. V České republice se

tyto systémy ani neoznačují jako tepelná čerpadla, ale jako reverzibilní jednotky a do statistik tepelných čerpadel se v současnosti nevykazují.

**Vzduch/voda** – energie ze vzduchu se ukládá do zásobníku tepla, čímž je možné lépe pokrýt spotřebu tepla v reálném čase. Topný systém musí být zabezpečen proti zamrznání v případě nefunkčnosti tepelného čerpadla a případně doplněn o další zdroj tepla v zimním období (bivalentní zásobník). Tento typ tepelných čerpadel bývá z důvodu potřeby odmrazení výparníku vybaven reverzním ventilem, a je tedy možné jej použít i k chlazení objektu. Na českém trhu se jedná o nejprodávanější provedení tepelného čerpadla.

#### 4.3.1.2 Přírodní zdroje tepla – voda

Použití vody jako zdroje tepla pro tepelné čerpadlo je výhodné zvláště pro její stabilnější teplotu při srovnání se vzduchem, ale dostupnost tohoto zdroje je menší a projekce takového zařízení je i administrativní a konstrukčně komplikovaná. Vodu, jako tepelný zdroj, je možné využít dvěma způsoby:

**Povrchové vodní toky** (řeky, jezera, rybníky, nádrže...) - primární okruh tepelného čerpadla je napuštěn nemrznoucí kapalinou, aby v zimních měsících nedocházelo k zamrznání. Výměník tepla (plošný kolektor) je nutné zabezpečit proti silnému toku řeky (povodni) a zanášení nečistotami, ale jinak je instalace relativně jednoduchá. Příliš nízká teplota vody snižuje účinnost čerpadla a je nutné zabezpečit, aby vodní tok v zimních měsících kompletně nezamrzl.

**Podzemní vodní toky** – teplotní úroveň podzemních vodních toků se pohybuje v rozmezí cca 10 °C až 15 °C, přičemž během roku se tato teplota výrazně nemění. Využití podzemních vod vyžaduje dvě studny – jednu, ze které se voda odčerpává (zdrojová) a druhou, do které se přivádí (vsakovací). V primárním okruhu je tedy použita přímo podzemní voda, což zvyšuje nároky na čistotu vody a její chemické složení. U velmi znečištěné vody se do studny vkládá plastový výměník tepla, jedná se pak o nepřímý odběr tepla. Obě studny musí být od sebe dostatečně vzdáleny, aby nedocházelo k tepelnému ovlivnění (vsakovací studna musí být umístěna po směru toku podzemního zdroje od zdrojové studny). Hloubka studny/vrtu se doporučuje cca 10 m. Při hodnocení účinnosti tepelného čerpadla je potřeba zohlednit náklady na čerpání vody ze zdrojové studny. Díky stabilní teplotě zdroje je tento typ čerpadel jedním z nejlepších z hlediska efektivnosti, z hlediska investičních nákladů je však jedním z nejnáročnějších. Zároveň je třeba získat povolení na tak významný zásah do přírody a vodních zdrojů.

#### 4.3.1.3 Přírodní zdroje tepla – půda

Geotermální energii Země je možné čerpat pomocí plošných kolektorů, hloubkových vrtů nebo energetických pilotů. Zemina se navíc chová jako akumulátor tepla, získávaného ze slunečního záření. Její teplota je poměrně stabilní a s rostoucí hloubkou vrtu se stabilita zdroje zvyšuje, přičemž od cca 15 m má teplota zeminy stálých 10 °C (ve středoevropských podmínkách). Naopak čím blíže je k povrchu, tím větší výkyvy teploty lze očekávat, stále však podstatně menší než ve vzduchu. Od hloubky cca 15 m se teplota zvyšuje o tzv. geotermálnímu gradient, který je přibližně 1 °C na 30–40 metrů. Geotermální energie ze Zemského jádra převažuje cca od hloubky 30 m. Závislost teploty na hloubce v zemině pro oblast do 30 m je možné vypočítat pomocí rovnice

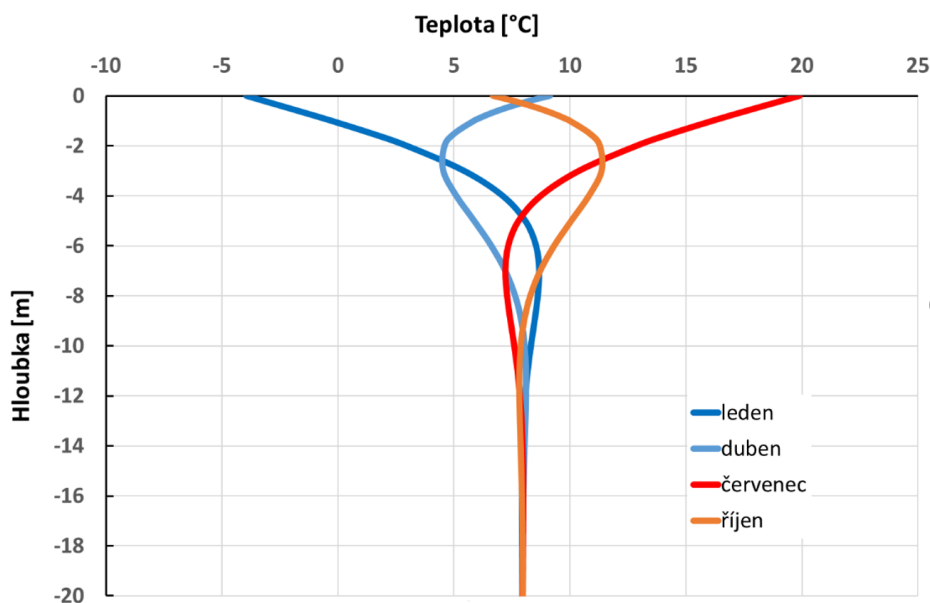
#### Rovnice 4.13 Výpočet závislosti teploty na hloubce v zemině pro oblast do 30 m

$$T_{d,t} = T_M - A_s \cdot e^{\left[-d \left(\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}\right)^{\frac{1}{2}}\right]} \cdot \cos \left[ \frac{2\pi}{365} \left( t - t_o - \frac{d}{2} \cdot \left(\frac{365}{\pi \alpha}\right)^{\frac{1}{2}} \right) \right]$$

kde  $T_{d,t}$  [°C] je teplota zeminy v hloubce  $d$  [m] po  $t$  dnech (počítáno od 1. ledna),  $T_M$  [°C] průměrná teplota povrchu<sup>7</sup>,  $A_s$  [K] amplituda teploty zemského povrchu (obvykle 10 K),  $t_0$  den v roce s nejnižší teplotou povrchu (obvykle 30–35 den),  $\alpha$  [m<sup>2</sup>/den] teplotní vodivost půdy.

Tepelná čerpadla využívající zem jako zdroj tepla jsou investičně nejnáročnější. Je to způsobeno nutností vytvořit hluboké vrty nebo rozložit tepelný výměník (kolektor) do velké plochy. Z vrtu nebo kolektoru je teplo odnímáno nemrznoucí směsí, která jej následně předává v tepelném čerpadle. Doporučený rozdíl teplot mezi vstupem a výstupem směsi do/z výparníku je maximálně 4 K.

**Obrázek 4.4 Průběh teplot v blízkosti povrchu Země pro různá období**



Zdroj: VUT

Teplo je z půdy získáváno jedním ze tří způsobů:

**Hlubinné vrty (horizontální kolektory)**, kdy se hloubka vrtu pohybuje od cca 60 do 300 m v závislosti na složení zeminy, terénu a požadovaném výkonu. Vrtů může být několik, napojených do společného sběrače/rozdělovače, odkud je teplo přiváděno do tepelného čerpadla. Při použití více vrtů by měla vzdálenost mezi vrty činit alespoň 10 % hloubky vrtu, minimálně však 6 m, aby nedocházelo k vzájemnému ovlivnění. Pro tepelná čerpadla o výkonu do 30 kW lze potřebnou hloubku vrtu  $H$  stanovit pomocí rovnice

**Rovnice 4.14 Výpočet potřebné hloubky vrtu pro TČ s horizontálním kolektorem tepla**

$$H = \frac{Q_T}{q_{VRT}}$$

kde  $H$  [m] je hloubka vrtu v metrech,  $Q_T$  [W] je chladicí výkon tepelného čerpadla (část topného výkonu odnímána okolnímu prostředí) a  $q_{VRT}$  [W/m] měrný výkon vrtu.

<sup>7</sup> Jedním ze zdrojů, kde lze najít teploty povrchu Země pro různé oblasti, je webová stránka: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.

Hodnoty měrného výkonu vrtu  $q_{VRT}$  v závislosti na hornině jsou uvedeny v následující tabulce.

**Tabulka 4.3 Hodnoty měrného výkonu vrtu  $q_{VRT}$  v závislosti na hornině**

Typ půdy	Měrný výkon [W/m]
Hornina s velkým výskytem spodní vody	100
Pevná hornina s vysokou tepelnou vodivostí	80
Normální pevná hornina	55
Suchá zemina s nízkou tepelnou vodivostí	30

Zdroj: Žilinská Univerzita v Žilině

Energie odebraná z vrtu během roku by neměla překročit 100–120 kWh/m.

U tepelných výkonů nad 30 kW je žádoucí nechat provést návrh kolektoru na základě odborných výpočtů a skutečné vodivosti horniny, stanovené na základě výsledků testu tepelné odezvy hornin, tzv. TRT testu.

**Energetické piloty** jsou v podstatě obdobou hlubinných vrtů. V případě stavby budovy na nezpevněném podloží, případně pokud se jedná o výškové budovy, je nutné vybudovat kromě klasických základů i tzv. základové piloty. Takové piloty je možné využít jako výměníky tepla a získávat tak energii ze země. Na železnou konstrukci pilotu se připojí spirálovitý výměník tepla, který se následně vloží do předvrtané pilotové díry. Z energetického hlediska platí pro piloty stejná pravidla jako pro hlubinné vrty.

**Plošné (horizontální) kolektory** jsou finančně méně náročné než hlubinné vrty, nevýhodou je nutnost velkého pozemku a po zapuštění kolektoru je tato plocha omezena na další využití (není možné stavět další objekty, nebo sázet stromy). Zároveň je nutné kolektor umístit dostatečně hluboko, aby nedocházelo k ovlivnění vegetace nad ním. Kolektor se obvykle umísťuje do hloubky 1,5–2 m, což je oblast ovlivněna podmínkami na povrchu. Pokud není kolektor v letním období využíván (nebo je jeho zátěž snížena), dochází k jeho přirozené regeneraci. Tepelný výkon, získaný kolektorem, je opět závislý na složení půdy a na velikosti výměníku. Obdobně jako u vertikálního kolektoru je možné potřebnou plochu  $S$  odhadnout pomocí rovnice

**Rovnice 4.15 Výpočet potřebné plochy kolektoru**

$$S = \frac{Q_T}{q_{KOL}}$$

kde  $S$  [m<sup>2</sup>] je potřebná plocha kolektoru,  $Q_T$  [W] je chladicí výkon tepelného čerpadla (část topného výkonu odnímána okolnímu prostředí) a  $q_{KOL}$  [W/m<sup>2</sup>] je měrný výkon kolektoru.

Měrný výkon kolektoru v závislosti na kvalitě podloží je uveden v následující tabulce.

**Tabulka 4.4 Měrný výkon kolektoru v závislosti na kvalitě podloží**

Typ půdy	Měrný výkon [W/m <sup>2</sup> ]
Suchá soudržná půda	10–15
Vlhká soudržná půda	15–20
Velmi vlhká soudržná půda	20–25
Půda obsahující vodu	25–30
Půda s výskytem spodní vody	30–40

Zdroj: Žilinská Univerzita v Žilině



#### 4.3.1.4 Odpadní teplo

Využití odpadního tepla tepelnými čerpadly je možné rozdělit do dvou kategorií:

**Tepelná čerpadla k rekuperaci tepelné energie** – jedná se o tepelná čerpadla, která získané teplo navracejí zpět do technologického procesu. V případě, že příkon takového tepelného čerpadla je nižší, než jsou ztráty tepla v použité technologii, je zapotřebí do technologie vložit další zdroj tepla, který je využit také při náběhu technologie. Toto technologické odpadní teplo je nejčastěji odnímáno z různých kapalin (voda, olej), nebo vzdušin (vzduch, spaliny). Limitující je v tomto případě teplota zdroje, kdy současná „běžná“ řešení jsou schopna pracovat s teplotami zdroje do 40 °C a výstupními teplotami kolem 80 °C. Individuální úpravou (stavbou) je pak možno zrealizovat zařízení se vstupními teplotami v rozmezí 60–80 °C a výstupními teplotami 90–120 °C. Vyšších výstupních teplot (do cca 200 °C) je pak dosahováno již pouze rekompresí par chladiva, která je realizována spíše u experimentálních zařízení.

**Tepelná čerpadla pro využití odpadního tepla** – získané teplo není navraceno zpět do technologie, ale je použito k jinému účelu, kterým je nejčastěji ohřev teplé vody, nebo vytápění prostor. Zdrojem odpadního tepla jsou nejčastěji odpadní vody (včetně tzv. černých odpadních vod), případně odpadní větrací vzduch. Teplota zdroje se pohybuje obvykle v rozmezí 15–30 °C.

Tepelná čerpadla, využívající jako zdroj odpadní teplo, pracují s vysokým COP. Jejich použití je třeba posuzovat individuálně, a to zejména s ohledem na množství odpadního tepla a zároveň i na smysluplné využití tepla získaného.

#### 4.3.2 Teplotní úrovně spotřeby tepla

Stejně jako teplota zdroje tepla je výstupní teplota (teplota spotřeby tepla) důležitým parametrem pro stanovení účinnosti tepelného čerpadla. V současnosti jsou tepelná čerpadla schopna dosahovat maximálních výstupních teplot topné vody kolem 60 °C, a jsou tedy vhodná pro nízkoteplotní vytápěcí systémy (teplota topné vody je nižší jak 60 °C).

Používané systémy vytápění můžeme rozdělit do dvou kategorií:

**Velkoplošné (sálavé) systémy** – kdy je otopná plocha vytvořena pod povrchem podlahy, stropu nebo stěn. Velká otopná plocha umožňuje dosáhnout tepelného komfortu při nižší teplotě vzduch a při nižší teplotě otopného povrchu. Pokud je použito podlahové vytápění, neměla by teplota nášlapné vrstvy přesáhnout 28 °C v místnostech s trvalým pobytem a 34 °C v místnostech s krátkodobým pobytem (např. koupelny). U stěnového či stropního vytápění je možné dosahovat i vyšších teplot. Obvyklá teplota topného média na vstupu do velkoplošného vytápění činí **35 °C**. Sálavé systémy jsou vhodné i pro zajištění chlazení, kdy je však třeba zajistit, aby teplota chladicí vody byla vyšší jak teplota rosného bodu v místnosti.

**Lokální otopná tělesa** – k vytápění místnosti jsou použita lokální tělesa. Může se jednat o klasická otopná tělesa, která jsou vyprojektována na nižší teplotní spád, popř. tzv. Fan-Coilové jednotky, u kterých je vzduch přes tepelný výměník (Coil) nuceně proháněn ventilátorem (Fan). Teplota otopné vody na vstupu do těchto systému bývá **55 °C**. Systém využívající Fan-coilové jednotky lze s výhodou použít i k chlazení místností.

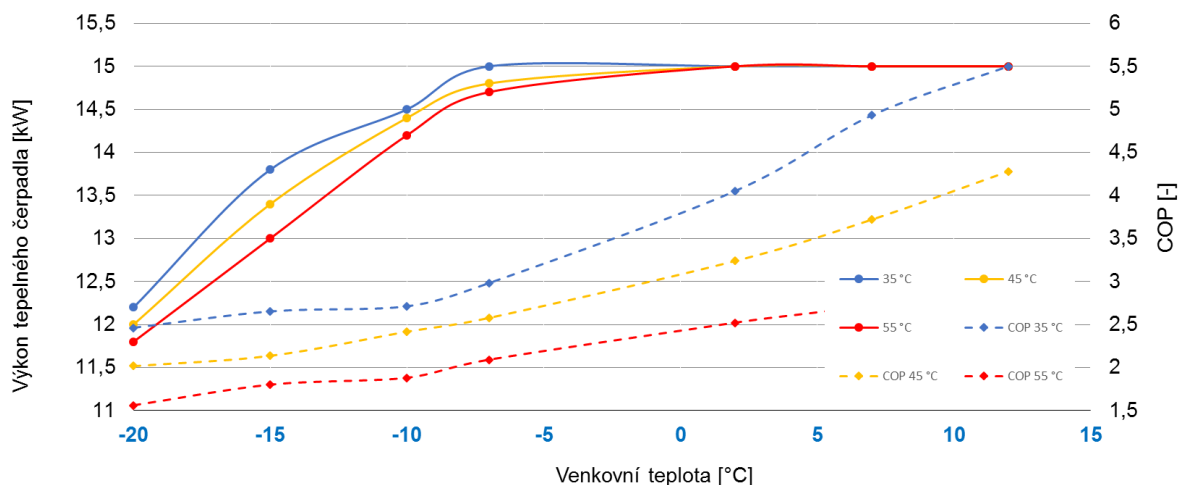
Samostatnou kategorií pro provoz tepelného čerpadla je pak příprava teplé vody. Podle požadavků ČSN EN 806-2 je zapotřebí zajistit, aby při úplném otevření výtokové armatury vytékala nejpozději po uplynutí 30 s voda o teplotě 50 °C až 55 °C, výjimečně 60 °C (v odběrové špičce krátkodobě nejméně 45 °C). Tepelným čerpadlem je pak potřeba připravit teplou vodu o teplotě **55–60 °C**.

### 4.3.3 Regulace a zapojení tepelného čerpadla

Požadovaný topný výkon se v průběhu otopného období mění v závislosti na vnějších podmínkách, kdy s vyšší teplotou okolí je potřebný topný výkon nižší, a tedy i požadovaná teplota otopné vody. Jelikož je účinnost tepelného čerpadla závislá na rozdílu mezi teplotou zdroje a teplotou spotřeby, je vhodné v průběhu topné sezóny upravovat teplotu otopné vody podle požadavků vytápěného objektu. Tento typ regulace se nazývá **Ekvitermní regulace** a bývá součástí regulačního systému tepelného čerpadla.

Také výkon tepelného čerpadla se v průběhu otopného období mění. U tepelných čerpadel, kde je zdrojem tepla okolní vzduch, se tento výkon mění s okolní teplotou, u tepelných čerpadel se zdrojem tepla povrchová voda a půda klesá postupně teplota zdroje v důsledku odebírání tepla. Příklad výkonových parametrů tepelného čerpadla vzduch/voda v závislosti na teplotě okolního vzduchu a požadované teploty výstupní vody je uveden na následujícím obrázku.

Obrázek 4.5 Závislost výkonu tepelného čerpadla vzduch/voda na provozních podmínkách



Zdroj: VUT

Jak je z obrázku patrné, klesá výkon a COP vzduchového tepelného čerpadla s venkovní teplotou, tedy s rostoucím požadavkem na dodávku tepla, a je tedy nutné řešit otázku výkonu tepelného čerpadla a jeho zapojení s dodatečným (bivalentním) zdrojem, aby byl tento pokles výkonu pokryt. V případě současných tepelných čerpadel je nejčastějším bivalentním zdrojem elektrický kotel.

Možnosti zapojení tepelného čerpadla jsou následující:

**Monovalentní provoz** – tepelné čerpadlo pokrývá 100 % výkonu i při návrhových teplotách a pro značnou část sezóny je tedy naddimenzováno. Tento způsob provozu je možné realizovat u tepelných čerpadel s proměnným výkonem kompresoru.

**Alternativně bivalentní provoz** – tepelné čerpadlo je schopno pokrýt tepelné ztráty objektu jen do bodu bivalence (obvykle v rozmezí -5 °C až -10 °C). Pokud je venkovní teplota nižší než bod bivalence, je tepelné čerpadlo odstaveno a o vytápění objektu se stará jiný zdroj.

**Paralelně bivalentní provoz** – tepelné čerpadlo pracuje samostatně do bodu bivalence. Při teplotách nižších, než bod bivalence, je k tepelnému čerpadlu připojen pomocný zdroj, který dokrývá chybějící výkon. Oba zdroje tedy pracují současně.

**Částečně paralelně bivalentní provoz** – pod teplotou bivalence se připíná další zdroj tepla v paralelním provozu. Pokud není i tak dosaženo potřebné výstupní teploty otopné vody, čerpadlo se vypíná a pracuje pouze další záložní zdroj.

Pro provoz tepelných čerpadel s nízkoteplotním vytápěcím systémem je vhodné monovalentní a paralelní zapojení. Výkon přídatného zdroje je nutné započítat do vyhodnocované energetické bilance.

#### 4.3.4 Zhodnocení

Při vyhodnocování energetické náročnosti vytápění a přípravy TV pomocí tepelných čerpadel je nutné reflektovat teploty venkovního prostředí různých zdrojů nízkopotenciálního tepla. V rámci stanovení potenciálu pro vytápění a přípravu teplé vody je vhodné rozdělit průměrné teploty venkovního zdroje pro otopné období a mimo něj. Otopná sezóna byla stanovena zjednodušujícím určením jako 1. září až 31.

května. Pro podmínky České republiky je možné uvažovat s následujícími průměrnými teplotami na vstupu do tepelného čerpadla pro oba typy období<sup>8</sup>:

**Tabulka 4.5 Průměrné teploty na vstupu do tepelného čerpadla dle typů čerpadel<sup>9</sup>**

Zdroj	V otopné sezóně	Mimo otopnou sezónu
Vzduch	4,8	16,9
Země – horizontální kolektor	3,6	11,0
Země – vrt	8,3	9,6
Voda	11,6	12,0

*Zdroj: VUT*

Odpovídající dosažitelné hodnoty průměrného COP, stanovené pro jednotlivé zdroje, obvykle používaného chladiva a způsobu provozu, jsou uvedeny v následující tabulce:

**Tabulka 4.6 Dosažitelné hodnoty průměrného COP pro jednotlivé typy čerpadel<sup>10</sup>**

Tepelné čerpadlo	Topná sezóna		Mimo topnou sezónu
	Velkoplošné vytápění Topná voda 35 °C	Vytápění a ohřev TV Topná voda 55 °C	Ohřev TV Topná voda 55 °C
Vzduch/voda	3,8	2,3	3,3
Země/voda – kolektor	4,1	2,6	3,1
Země/voda – vrt	4,6	2,8	2,9
Voda/voda	5,0	3,1	3,1
Vzduch/vzduch	4,2	--	--

*Zdroj: VUT*

Předchozí tabulka uvádí aktuálně dosažitelné hodnoty topných faktorů, stanovené na základě průměrných teplot zdrojů. Skutečné hodnoty topných faktorů, a zejména pak sezónních topných faktorů, jsou dále ovlivněny dalšími faktory jako např. způsob instalace, poměr přípravy TV a vytápění atd. Na základě dlouhodobých studií, provedených Fraunhoferovým Institutem, dosahují tepelná čerpadla vzduch/voda průměrného sezónního topného faktoru (SCOP) 3,0 a tepelná čerpadla země/voda 3,7.

Nejvyšších hodnot COP dosahují v případě vytápění tepelná čerpadla se zdrojem tepla o stabilní teplotě (vrt, voda). Výhoda stabilní teploty se však ztrácí v okamžiku ohřevu TV mimo topnou sezónu, kdy teplota zdrojů s proměnnou teplotou dosahuje vyšších hodnot, a tím i vyšší účinnosti přípravy TV.

<sup>8</sup> Průměrná teplota vzduchu je určena na základě teplotního normálu ČR z let 1981–2010, viz <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#>, teplota zeminy je určena na základě simulací teploty zeminy v hloubce 1,5 m (plošný kolektor) a 80 m (vrt) pro průměrnou střední povrchovou teplotu 7,96 °C (viz <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>) a uložení kolektoru (vrtu) v málo soudržných horninách.

<sup>9</sup> Pro TČ země/vrt byla použita průměrná teplota primárního okruhu v průběhu 20 let provozu – stanoveno na základě simulace průběhu teplot v neregenerovaném vrtu, umístěném v nesoudržných horninách. Teplota vody pro TČ voda byla určena na základě dostupných měření, provedených Fraunhoferovým Institutem v rámci projektu WP-monitor, [www.wp-monitor.de](http://www.wp-monitor.de).

<sup>10</sup> Pro TČ vzduch/vzduch je zohledněna teplota vzduchu ve vytápěné místnosti 20 °C. Při TČ vzduch/voda je kalkulováno s omrazováním výparníku, který snižuje COP, typicky o 5-10 % dle konkrétních podmínek.

## 4.4 Energetická náročnost chlazení

### 4.4.1 Chlazení vlhkého vzduchu

Významný vliv na energetickou náročnost chlazení vzduchu má postup, jakým je chlazení prováděno. Kritickým faktorem je dosažení teploty rosného bodu na povrchu chladiče, kdy podle toho, zda je teploty dosaženo, nebo ne, lze chlazení vzduchu rozdělit na:

**Suché** – teplota povrchu chladiče je vyšší než teplota rosného bodu chlazeného vzduchu. V tomto případě nedochází ke kondenzaci vzdušné vlhkosti a chladicí výkon je využit ke snížení teploty vzduchu.

**Mokrý** – teplota povrchu chladiče je nižší nebo rovna teplotě rosného bodu chladičoho vzduchu. V tomto případě dochází na povrchu chladiče ke kondenzaci vodní páry, což s sebou přináší potřebu odvedení latentního tepla, které v případě vodní páry činí  $2\,500\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Rozdíl mezi oběma způsoby chlazení vzduchu lze demonstrovat na příkladu ochlazení venkovního vzduchu v letních měsících pro lokalitu Brno. Dle databáze meteorologických data ASHRAE je v případě této lokality nejteplejším měsícem červenec, kdy pouze v jednom procentu případů je teplota vzduchu vyšší jak  $29\text{ °C}$ , přičemž průměrná teplota mokrého teploměru činí  $19,4\text{ °C}$ . Další parametry vzduchu, včetně měrného odvedeného tepla při suchém (teplota povrchu chladiče  $20\text{ °C}$ ) a mokřém (teplota povrchu chladiče  $9\text{ °C}$ ) chlazení, jsou uvedeny v následující tabulce:

**Tabulka 4.7 Parametry vzduchu pro lokalitu Brno za měsíc červen**

Teplota vzduchu	[°C]	29,0
Teplota mokrého teploměru	[°C]	19,4
Relativní vlhkost	[%]	41,1
Teplota rosného bodu	[°C]	14,5
Měrný výkon suché chlazení z $29\text{ °C}$ na $26\text{ °C}$	[kJ/kg <sub>svl</sub> ]	3,09
	[kJ/kg <sub>svk</sub> ]	1,030
Měrný výkon mokřé chlazení z $29\text{ °C}$ na $26\text{ °C}$	[kJ/kg <sub>svl</sub> ]	4,34
	[kJ/kg <sub>svk</sub> ]	1,447

*Zdroj: VUT*

Jak je z tabulky patrné, je potřeba chladu na mokřé chlazení o 40 % vyšší jak v případě suchého chlazení. U suchého chlazení je dosahováno nízkých teplotních spádů mezi teplotou povrchu chladiče a chlazeným vzduchem, což vede k potřebě použití velkých teplosměnných ploch.

### 4.4.2 Metody chlazení

Obdobně jako v případě tepelných čerpadel je energetická náročnost chlazení závislá na požadované teplotě chlazených prostor (odkud je teplo odebíráno) a teploty okolí (kam je teplo dodáváno). V případě chlazení budov se v současnosti využívají 2 metody chlazení:

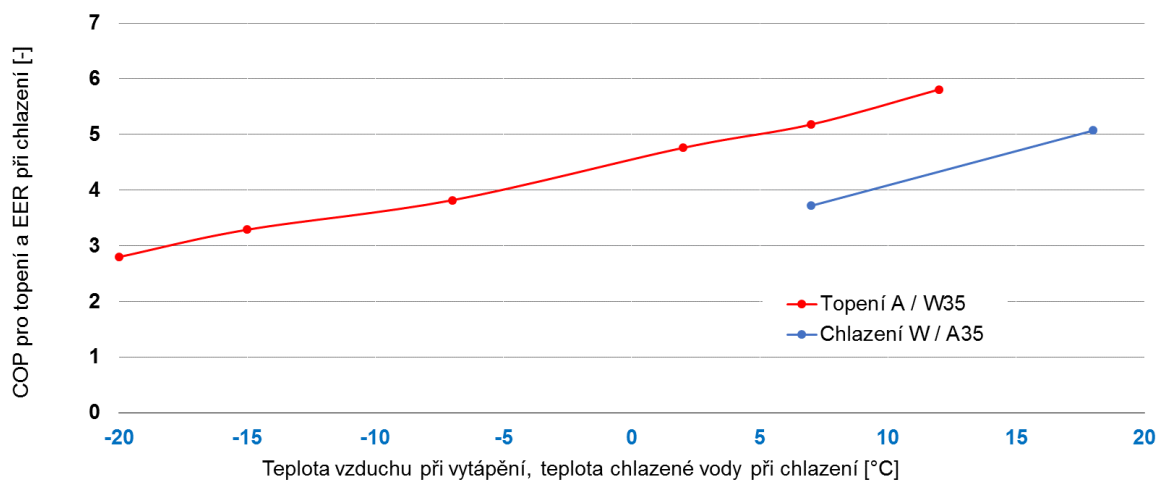
**Přímé chlazení prostor**, kdy chladivová část (výparník) je přímo v chlazeném prostoru a k ochlazení vzduchu v místnosti dochází přímo v důsledku odparu chladiva. Jedná se tedy o použití klimatizačních zařízení v provedení split, multi split či VRV(VRF). Vstupní teplota vzduchu do klimatizačního systému odpovídá teplotě v chlazeném prostoru a vzduch je při průchodu ochlazen o 6–7 K. Teplo je dodáváno okolnímu prostředí, u kterého se standardně počítá s teplotou  $35\text{ °C}$ . Tato klimatizační zařízení tedy pracují s poměrně malým teplotním rozdílem, a dosahují tedy vysokých účinností chlazení (SEER).

**Nepřímé chlazení prostor**, kdy chladicí zařízení (chiller) vyrábí chladicí vodu, která je vedena do Fan-coilových jednotek, umístěných v chlazeném prostoru, popř. do velkoplošných chladičích/otopných

systemů (podlahové chlazení, stropní chlazení). V případě využití Fan-Coilových jednotek je pro odebrání potřebného výkonu nutno zajistit poměrně nízkou teplotu chladicí vody, která se obvykle pohybuje v rozmezí 6–7 °C. U Fan-Coilových systémů tak dochází k mokrému chlazení a je zapotřebí zajistit odvod kondenzátu. U velkoplošných systémů je postačující vyšší teplota chladicí vody, a to i s ohledem na zabránění možné kondenzace vlhkosti na chlazeném povrchu. Pro velkoplošné systémy je tak připravována voda o teplotě kolem 18 °C, čímž dochází k suchému chlazení. Účinnost chlazení v systémech s rozvodem chlazené vody tak může být mírně horší než v případě přímého chlazení, avšak umožňuje realizovat chlazení i rozlehlých objektů.

V obou případech lze výhodně nahradit zdroje chladu tepelnými čerpadly. V případě přímého chlazení jsou využívána tepelná čerpadla vzduch/vzduch, která umožňují následně objekt i vytápět, a není tedy nutné řešit další systém. U nepřímého chlazení lze použít tepelná čerpadla vzduch/voda a popř. země/voda. U tepelných čerpadel země/voda se dá s výhodou využít pasivního chlazení (viz kapitola 2.4) v případě, že jsou použity velkoplošné chladicí/topné systémy. Teplo odvedené při chlazení je výhodně využito pro regeneraci zemních výměníků, popř. energetických pilotů, a do jisté míry je tak akumulováno pro další topnou sezónu. Použití systému země/voda s aktivním a pasivním chlazením však vyžaduje mít vyrovnanou bilanci potřeby tepla a chladu v průběhu roku, jinak bude zemní výměník (energetické piloty) buď ohříván, čímž se sníží možnost využití pasivního chlazení, nebo ochlazován, kdy bude klesat účinnost vytápění v zimním období.

**Obrázek 4.4** Porovnání účinnostních faktorů COP a EER pro vytápění a chlazení tepelným čerpadlem vzduch/voda



Zdroj: VUT

## 5 Stanovení potenciálu v ČR

Tato kapitola pojednává o stanovení potenciálu spotřeby energie v oblasti přímotopů a chlazení. Potenciál spotřeby energie byl kalkulován za využití soupisu odběrných míst z tarifní statistiky. Dalším zdrojem dat pro kalkulaci potenciálu byl expertně stanoven přepočet subsektorů maloodběru spotřeby za rok 2019.

### 5.1 Přímotopy

Přímotopné zdroje jsou založeny na principu současné výroby tepla a jeho předávání teplotnosné látky. Díky tomu tak bezprostředně reagují na potřebu dodávky energie k zajištění teploty vnitřního vzduchu. Výhodou přímotopného vytápění představuje jeho poměrně rychlá a přesná regulace. Klasické přímotopy představují nejčastěji nástěnná, pevně instalovaná topidla, využívající princip výměny vzduchu o různých teplotách. Mezi nejstarší a stále nejběžnější typ přímotopů na trhu patří přímotopné konvektory. Spodní část zařízení nasává chladný vzduch od podlahy a dutým prostorem jej vede k horké spirále, která stoupající vzduch ohřívá. Horní část přímotopu je pak ohřátý vzduch vypouštěn zpět do prostoru. K přímotopům můžeme řadit také teplovzdušné ventilátory.

**Tabulka 5.1 Dodávka tepelných čerpadel určených primárně k vytápění do roku 2020**

	Vzduch/voda	Země/voda	Voda/voda	Celkem	Vzduch/voda	Země/voda	Voda/voda
Do roku 2004	2 204	2 984	163	5 351	41%	56%	3%
2005	666	763	43	1 472	45%	52%	3%
2006	916	1 183	72	2 171	42%	54%	3%
2007	1 499	1 493	66	3 058	49%	49%	2%
2008	1 703	1 491	51	3 245	52%	46%	2%
2009	2 734	1 611	59	4 404	62%	37%	1%
2010	4 199	1 707	53	5 959	70%	29%	1%
2011	4 908	1 951	50	6 909	71%	28%	1%
2012	5 323	1 808	44	7 175	74%	25%	1%
2013	5 752	1 679	49	7 480	77%	22%	1%
2014	6 267	1 512	46	7 825	80%	19%	1%
2015	7 304	1 463	107	8 874	82%	16%	1%
2016	10 827	1 437	84	12 348	88%	12%	1%
2017	13 718	1 440	121	15 279	90%	9%	1%
2018	16 977	1 566	81	18 624	91%	8%	<1%
2019	21 563	1 333	84	22 980	94%	6%	<1%
2020	22 615	1 371	69	24 124	94%	5,70%	0,30%

Zdroj: tzb-info.cz

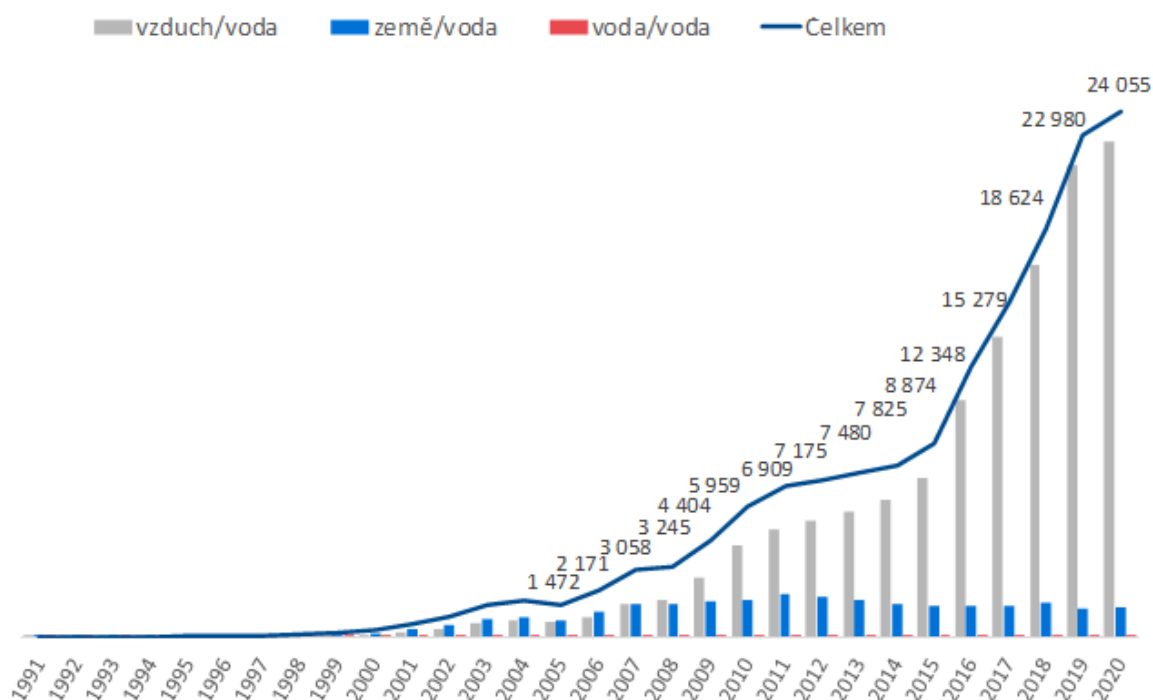
Elektrické vytápění může mít více variant, v závislosti od zdroje tepla. Ten může být:

- elektrický přímotopný,
- elektrický akumulární,
- nebo ve formě tepelného čerpadla.

Akumulární zdroje fungují na principu ukládání energie vyrobené v době nízkého tarifu do akumulátoru tepla (teplovodní zásobník, magnezitové cihly nebo betonová vrstva podlahy). Ta se následně v době

energetické špičky uvolní ve formě tepla a využívá se k ohřevu vnitřního vzduchu. Akumulační a přímotopné zdroje mohou být umístěny přímo ve vytápěné místnosti, nebo v rámci rozvodu otopné soustavy. Mezi přímotopné zdroje umístěné v rozvodu otopné soustavy patří i elektrokotel s ohřevem topné vody nebo přímotopný ohříváč vzduchu.

**Obrázek 5.1** Počet prodaných tepelných čerpadel celkem a dle typu



Zdroj: tzb-info.cz

### 5.1.1 Tarifní systém pro přímotopy

Při vytápění elektrickou energií pomocí přímotopu existuje nárok na zvýhodněnou dvoutarifní sazbu s dobou platností nízkého tarifu 20 hodin denně, která funguje na principu nízkého tarifu (NT) a vysokého tarifu (VT). V čase NT je elektřina extrémně levná, kdežto v období VT cena stoupá. Nejnáročnější elektrospotřebiče jsou podle toho centrálně zablokované nebo odblokované. Původně se v této kategorii používaly sazby D35d a D45d – první pro domácnosti se smíšeným vytápěním, přičemž kromě přímotopů musí být v soustavě zapojena i akumulační část. Druhá sazba byla určena pro uživatele topící přímotopem a zároveň elektřinou ohřívající vodu<sup>11</sup>. 1. dubna 2016 se tyto sazby nahradily a na nově uzavřené smlouvy se vztahuje sazba D57d s operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu pro odběrná místa vytápěná topným elektrickým spotřebičem.

Pro provoz tepelného čerpadla se tradičně využívaly zvýhodněné tarify elektrické energie, které umožňovaly odebírat elektřinu v nízkém tarifu po dobu 22 hodin denně. Možnost přiznání původní sazby D56d (resp. D55d) pro vytápění s tepelným čerpadlem uvedeným do provozu od 1. dubna 2005

<sup>11</sup> Od 1. dubna 2016 již nelze D45d nově sjednat.



a operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu byla také k 31. březnu 2016 ukončena a nahrazena sazbou D57d s dobou platnosti nízkého tarifu 20 hodin denně.

**Tabulka 5.2 Kategorie sazeb elektrické energie<sup>12</sup>**

Kategorie TDD	Označení tarifu	Charakteristika tarifu, doby platnosti nízkého tarifu
TDD č. 1	C 01d	Jednotarif (pro malou spotřebu)
	C 02d	Jednotarif (pro střední spotřebu)
	C 03d	Jednotarif (pro vyšší spotřebu)
TDD č. 2	C 25d	Dvoutarif / NT = 8 hodin
	C 26d	Dvoutarif / NT = 8 hodin, vyšší spotřeba
	C 27d	Dvoutarif / NT = 8 hodin, elektromobily
	C 35d	Dvoutarif / NT = 16 hodin
TDD č. 3	C 45d	Dvoutarif / NT = 20 hodin, do 31. 3. 2017
	C 46d	Dvoutarif / NT = 20 hodin, od 1. 4. 2017
	C 55d	Dvoutarif / tepelné čerpadlo / NT = 22 hodin, do 31. 3. 2005
	C 56d	Dvoutarif / tepelné čerpadlo / NT = 22 hodin, od 1. 4. 2005
není v systému TDD	C 60d	Jednotarif - speciální sazba pro neměřené odběry
TDD č. 8	C 62d	Jednotarif - speciální sazba pro veřejné osvětlení
TDD č. 4	D 01d	Jednotarif (pro malou spotřebu)
	D 02d	Jednotarif (pro střední spotřebu)
	D 61d	Dvoutarif / víkendový režim
TDD č. 5	D 25d	Dvoutarif / NT = 8 hodin
	D 26d	Dvoutarif / NT = 8 hodin, vyšší spotřeba
	D 27d	Dvoutarif / NT = 8 hodin, elektromobily
TDD č. 6	D 35d	Dvoutarif / operativní řízení / NT = 16 hodin
TDD č. 7	D 45d	Dvoutarif / NT = 20 hodin, do 31. 3. 2016
	D 56d	Dvoutarif / tepelné čerpadlo / NT = 22 hodin, do 31. 3. 2016
	D 57d	Dvoutarif / NT = 20 hodin, od 1. 4. 2016

Zdroj: ERÚ, tzb-info.cz

**Tabulka 5.3 Průměrný jmenovitý výkon tepelných čerpadel v kW podle sektoru**<sup>12</sup> Sazby elektrické energie pro podnikatele jsou označeny písmenem „C“, sazby určeny pro domácnosti zas písmenem „D“.

Rok	Domácnosti	Správa, služby, sport...	Podnikatelé, průmysl
2005	13	31	22
2006	13	41	28
2007	12	65	45
2008	12	24	35
2009	12	24	20
2010	13	18	18
2011	12	19	22
2012	13	30	22
2013	12	27	26
2014	12	20	23
2015	10	19	26
2016	10	15	15
2017	10	17	21
2018	12	19	15
Průměr za celé období	12	26	24

Zdroj: MPO

### 5.1.2 Metodika spotřeby elektrické energie na vytápění podle typových diagramů dodávky

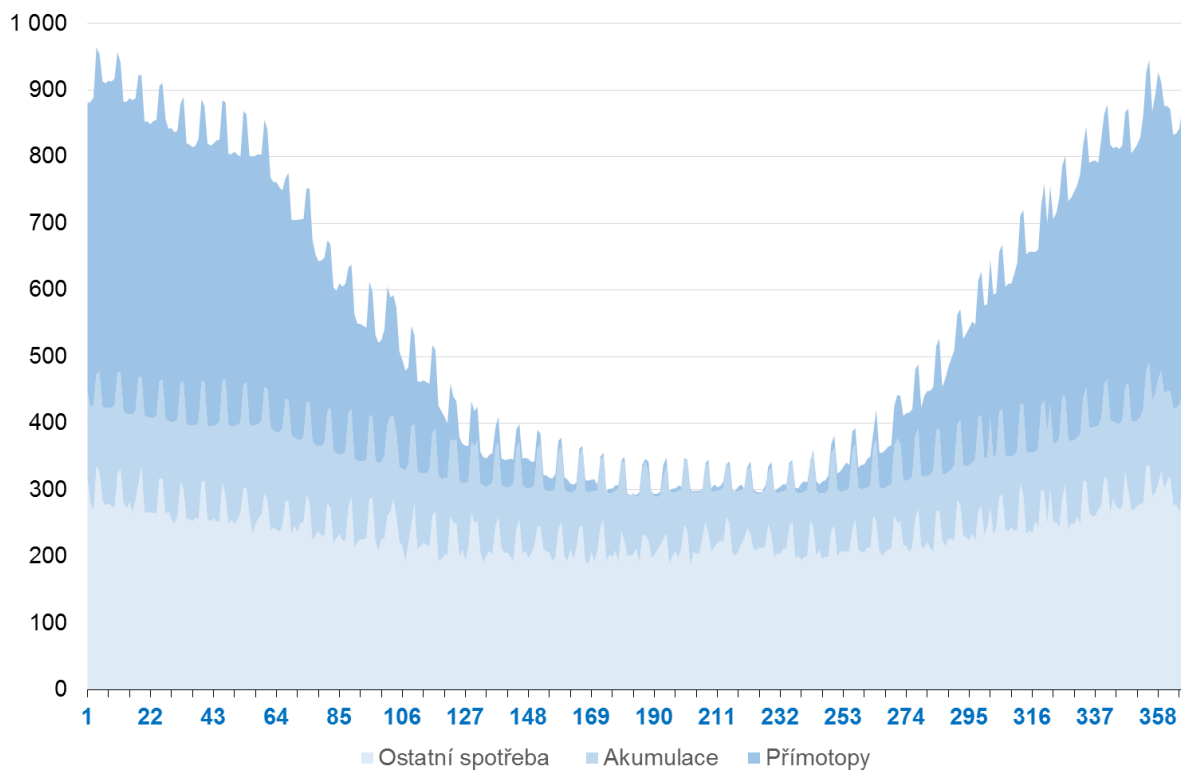
Problematika řízení spotřeby je řešena na základě analytických a výpočetních postupů odvozených ze zpracování projektu typových diagramů dodávky (TDD). Získaný potenciál spotřeby teoreticky převoditelný na tepelná čerpadla můžeme potvrdit výsledkem z modelového příkladu využívajícího typové diagramy dodávky.

Rozbor byl založen na segmentaci diagramů spotřeby do jednotlivých kategorií a znalosti tvarových změn těchto diagramů ve vazbě na vlastní systém řízení spotřeby.

Další postup lze rozdělit na tři základní kroky:

1. Stanovení celkových diagramů spotřeby v návaznosti na bilance jednotlivých regionů
2. Stanovení části energie spotřebované v přímotopném vytápění
3. Rozdělení zbývající spotřeby na energii pro ohřev TV (akumulace) a energii pro netepelné spotřebiče (tzv. ostatní spotřeba)

#### Obrázek 5.2 Graf spotřeby



### 5.1.2.1 Potenciál spotřeby

Pro rozbor potenciálu spotřeby jsou využita bilanční data za ucelený kalendářní rok 2019, která nejsou postižena vlivy protikoronavirových opatření. Stanovení odhadovaného průběhu stávající spotřeby ve formě diagramů jsou odvozeny z metodiky a diagramů TDD zasazených do reálných bilancí regionů v roce 2019.

Tabulka 5.4 Tarifní statistika

	Počet odběrných míst [-]	Spotřeba el. ve vysokém tarifu [MWh]	Spotřeba el. v nízkém tarifu [MWh]	Spotřeba el. celkem [MWh]
MOP	746 631	5 295 276	2 394 392	7 689 668
C 01 d	242 012	240 962	-	240 962
C 02 d	261 481	1 592 609	-	1 592 609
C 03 d	17 607	922 784	-	922 784
C 25 d	112 786	1 167 305	642 447	1 809 752
C 26 d	7 565	445 375	199 183	644 558
C 27 d	85	458	153	611
C 35 d	1 465	33 808	60 118	93 926
C 45 d	52 858	272 967	1 387 089	1 660 056
C 46 d	1 762	2 141	19 336	21 477
C 55 d	402	1 026	14 209	15 235
C 56 d	3 143	5 769	71 857	77 627
C 60 d	8 869	-	-	-
C 62 d	36 596	610 072	-	610 072
MOO	5 321 220	8 206 918	7 997 057	16 203 976
D 01 d	715 524	490 268	-	490 268
D 02 d	2 797 539	4 846 602	-	4 846 602
D 25 d	1 047 351	2 095 016	2 065 505	4 160 522
D 26 d	64 230	148 050	332 003	480 054
D 27 d	521	1 105	894	1 999
D 35 d	11 559	20 064	66 137	86 201
D 45 d	425 790	358 560	3 539 094	3 897 654
D 56 d	56 291	51 744	686 928	738 672
D 57 d	195 428	192 092	1 301 573	1 493 665
D 61 d	6 987	3 416	4 923	8 339

Zdroj: ERÚ

Pro každý region a skupiny odběratelů byla odvozována celková spotřeba, rozdělená na přímé vytápění, akumulace a ostatní spotřebu. Spotřeba pro přímotopy tak byla stanovena na 1 789 GWh, spolu se spotřebou elektrické energie pro akumulace tak představuje hodnotu 2 832 GWh.

Tabulka 5.5 Spotřeba pro jednotlivé typy vytápění (GWh)

	GWh	%
Celková spotřeba TDD7 ČR	4 893	
Spotřeba přímotop	1 789	37
Spotřeba akumulace	1 043	21
Celkem spotřeba	2 832	58

### 5.1.3 Metodika výpočtu spotřeby elektrické energie pro vytápění podle přepočtu na subsektory maloodběru spotřeby

Pro ověření hodnot získaných z přepočtu spotřeby elektrické energie dle TDD jsme využili také přepočty na jednotlivé subsektory maloodběru spotřeby. Data pro model rozdělení spotřeby maloodběru spotřeby

(MOO) byla získána z tarifní statistiky, která je veřejně dostupná na stránkách ERÚ. Za domácnosti jsou považovány tzv. hospodařící domácnosti. Jde o osobu, „*kteřá bydlí ve vlastním bytě nebo na sčítacím tiskopisu uvedla samostatné hospodaření při společném bydlení s dalšími osobami. Osoby tvořící hospodařící domácnost hradí společně hlavní výdaje domácnosti. Hospodařící domácnost může být tvořena jednou nebo více cenovými domácnostmi (např. rodina rodičů a rodina dítěte)*“ (Český statistický úřad, 2014).

V rámci výpočtu jednoduché spotřeby byl brán v potaz fakt, že jednoduchou spotřebou jsou vybaveny všechny domácnosti a ostatní spotřeba je brána jako teplotně nezávislá. Hodnoty pro vytápění jsou přepočteny tak, že rozdíl mezi naměřenou spotřebou a přepočtenou je rozpuštěn poměrně mezi vytápění přímé a vytápění čerpadlem.

**Tabulka 5.6 Spotřeba MOO (GWh)**

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
naměřená	15 138	15 315	14 699	14 992	14 894	14 125	14 382	14 819	15 211	15 050	15 257
přepočtená	15 267	14 986	14 858	15 019	14 785	14 656	14 693	14 940	15 286	15 314	15 638
z tarifní statistiky	15 182	15 594	15 676	15 026	15 167	14 613	14 870	15 386	15 701	15 729	15 940

Další faktory, které byly brány v potaz:

1. spotřebou s ohřevem jsou vybaveny domácnosti s tarifem D25 - tyto domácnosti mají ostatní spotřebu a ohřev TV;
2. byl přijat předpoklad, že domácnost s tarifem D25 netopí elektřinou;
3. byl přijat předpoklad, že spotřeba domácnosti s ohřevem TV je vyšší, protože domácnost s tarifem D25 používá elektřinu vždy k vření a dále používá více ostatních spotřebičů (má výhodnější provoz, což motivuje k vyššímu využití);
4. ostatní spotřeba v domácnostech s tímto tarifem je počítána jako průměrná spotřeba v D02 navýšená o odhad pro varnou desku a ostatní spotřebiče;
5. spotřeba na ohřev TV je brána jako teplotně nezávislá.

**Tabulka 5.7 Měrná spotřeba za sektor - spotřeba na jednu domácnost vybavenou daným odběrem (kWh/dom)**

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
vytápění	7 019	5 844	6 562	5 888	5 763	6 100	5 838	5 730	5 969	5 985	6 056
vytápění přímé	6 866	5 687	6 357	5 621	5 456	5 758	5 461	5 547	5 645	5 400	<b>5 233</b>
vytápění čerpadlo	10 741	8 962	10 044	9 624	9 521	9 809	9 363	6 970	7 999	8 849	9 315
ohřev TV	2 717	2 666	2 520	2 510	2 402	2 289	2 281	2 316	2 330	2 234	2 170
ohřev přímý	2 733	2 686	2 542	2 536	2 431	2 320	2 318	2 368	2 387	2 304	<b>2 255</b>
ohřev čerpadlo	1 425	1 408	1 340	1 344	1 295	1 243	1 242	1 268	1 279	1 234	1 208
ostatní	2 032	2 040	1 949	1 989	1 936	1 860	1 852	1 865	1 870	1 834	1 842
<b>průměr</b>	<b>3 541</b>	<b>3 443</b>	<b>3 396</b>	<b>3 404</b>	<b>3 327</b>	<b>3 277</b>	<b>3 262</b>	<b>3 309</b>	<b>3 371</b>	<b>3 346</b>	<b>3 387</b>

**Tabulka 5.8 Míra vybavenosti za sektor - počty domácností s typem spotřeby na celkovém počtu domácností (tis.)**

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
vytápění	410	427	439	463	479	497	517	541	558	589	624
vytápění přímé	394	406	414	432	443	455	467	471	481	489	<b>498</b>
vytápění čerpadlo	16	20	24	31	36	42	50	70	77	100	126
ohřev TV	1 336	1 356	1 370	1 402	1 423	1 443	1 461	1 478	1 492	1 519	1 548
ohřev přímý	1 319	1 335	1 346	1 371	1 386	1 401	1 411	1 408	1 416	1 419	<b>1 422</b>
ohřev čerpadlo	16	20	24	31	36	42	50	70	77	100	126
ostatní	4 312	4 353	4 375	4 412	4 445	4 472	4 505	4 514	4 535	4 576	4 617
celkem	4 312	4 353	4 375	4 412	4 445	4 472	4 505	4 514	4 535	4 576	4 617

Z daných přepočtů na jednotlivé typy spotřeby pro domácnosti jsme následujícím výpočtem získali celkovou spotřebu elektrické energie pro přímé vytápění a ohřev TV:

**Rovnice 5.1 Výpočet celkové měrné spotřeby elektrické energie na přímé vytápění**

$$S_c = S_{vp} \cdot D_{vp}$$

kde  $S_{vp}$  představuje měrnou spotřebu elektrické energie v kWh na přímé vytápění v jedné domácnosti a  $D_{vp}$  počet domácností v tisících vybavených zařízením na přímé vytápění. Celková měrná spotřeba elektrické energie pro přímé vytápění v ČR v roce 2019 činí **2 606 GWh**. Porovnáním s hodnotou získanou z přepočtu spotřeby elektrické energie dle TDD (2 832 GWh) jsou potvrzeny expertní výpočty.

**Rovnice 5.2 Výpočet celkové měrné spotřeby elektrické energie na přímý ohřev TV**

$$S_c = S_{op} \cdot D_{op}$$

Při výpočtu celkové měrné spotřeby elektrické energie na přímý ohřev TV  $S_{op}$  představuje měrnou spotřebu elektrické energie v kWh na přímý ohřev TV v jedné domácnosti a  $D_{op}$  počet domácností v tisících vybavených zařízením na přímý ohřev TV.

Celková měrná spotřeba elektrické energie pro přímý ohřev TV za domácnosti v ČR v roce 2019 činil **3 207 GWh**.

## 5.2 Klimatizace

### 5.2.1 Stanovení potenciálu

Stanovení potenciálu pro klimatizace vychází z expertního stanovení potenciálu spotřeby elektrické energie pro chlazení pro město Brno, uvedeného v tabulce 5.9.

**Tabulka 5.9 Strategie využití absorpčního chlazení v Brně - spotřeba chlazení (MWh)**

	2019	2030	2050
bytové domy	1 339	1 547	1 768
rodinné domy	48	55	68
velká obchodní centra	17 600	18 480	19 360
provozovny služeb	9 900	11 979	14 256
soukromé kancelářské objekty	27 720	33 541	39 917
městské a veřejné budovy	7 920	10 930	13 385
průmyslové chlazení	4 500	4 725	4 950
kluziště	0	0	0
sportovní haly	1 238	1 634	2 005
<b>celkem</b>	<b>70 264</b>	<b>82 890</b>	<b>95 708</b>

Celková hodnota spotřeby elektřiny na chlazení na obyvatele pro budovy v roce 2019, kde je instalována chladicí jednotka, byla propočtena skrze celkový počet obyvatel města Brna<sup>13</sup>. Spotřeba elektrické energie pro chlazení v budovách s instalovanou chladicí jednotkou tedy představuje 186,1 kWh/os.

Pro analýzu spotřeby chladu v celé ČR byla využita data Českého statistického úřadu ze SLDB (Sčítání lidu, domů a bytů) z roku 2011, následně aktualizovaná k roku 2019. Použita byla data z definitivních výsledků za jednotlivé kraje, dle velikostní skupiny obce a pro domovního fond. Tato data byla využita na propočet spotřeby chlazení ČR na základě spotřeby chlazení v Brně, která představuje referenční hodnotu. Pro zjištění spotřeby elektrické energie pro chlazení v ČR bylo prostřednictvím koeficientů nutné zohlednit také další faktory, např. různé velikosti sídel v ČR nebo odlišné roční průměrné teploty dle krajů.

Jako první byl zohledněn poměr rodinných a bytových domů v dané velikostní skupině obce. Dále byl expertně stanovený koeficient<sup>14</sup> pro každou velikostní skupinu obce<sup>15</sup> vzhledem k počtu obyvatel dané skupiny. Chlazení v dané velikostní skupině tak bylo stanoveno na základě dat pro Brno (tj. 186,1 kWh/os) a propočteno danými expertně stanovenými koeficienty pro každou velikostní skupinu. Pro další postup byl použit průměr všech hodnot spotřeby elektrické energie pro chlazení za velikostní skupiny, a to 196,4 kWh/os.

Pro upřesnění výsledku bylo ovšem potřebné vzít do úvahy také odlišná teplotní pásma jednotlivých krajů, a tedy odlišnou potřebu chlazení v jednotlivých regionech. Následně byly tedy roční průměrné teploty za rok 2019 propočteny vzhledem k referenční hodnotě pro Brno (resp. Jihomoravský kraj), přičemž  $T_B$  představuje teplotu Brna (resp. Jihomoravského kraje),  $T_J$  teplotu jiného kraje. Tento rozdíl byl následně odečten od koeficientu SEER, který pro tento případ představuje hodnotu 3,5 a byl vynásoben koeficientem  $k$ . Koeficient  $k$  představuje hodnotu 0,19, která byla expertně stanovena na základě grafu poklesu chladicího faktoru.

### Rovnice 5.3 Propočet průměrných teplot koeficientem $k$

$$R = SEER - (T_J - T_B) \cdot k$$

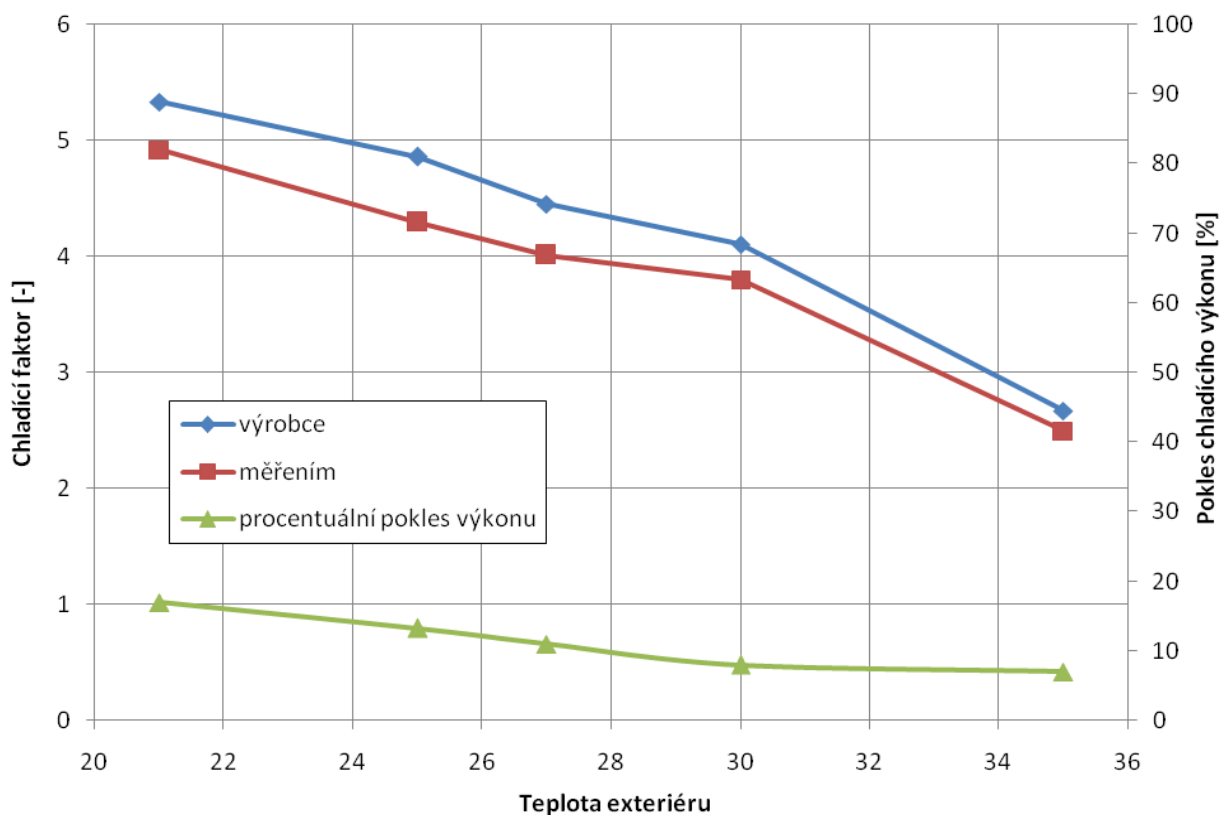
<sup>13</sup> Použita byla data k r. 2021, tj. 382 405 obyvatel města Brno.

<sup>14</sup> Koeficient 1 připadá obci velikosti Brna – 100 000 obyvatelů a více.

<sup>15</sup> Celkem šlo o 10 velikostních skupin, přičemž nejmenší představovala obce do 199 obyvatel a největší obce s 100 000 obyvateli a více.



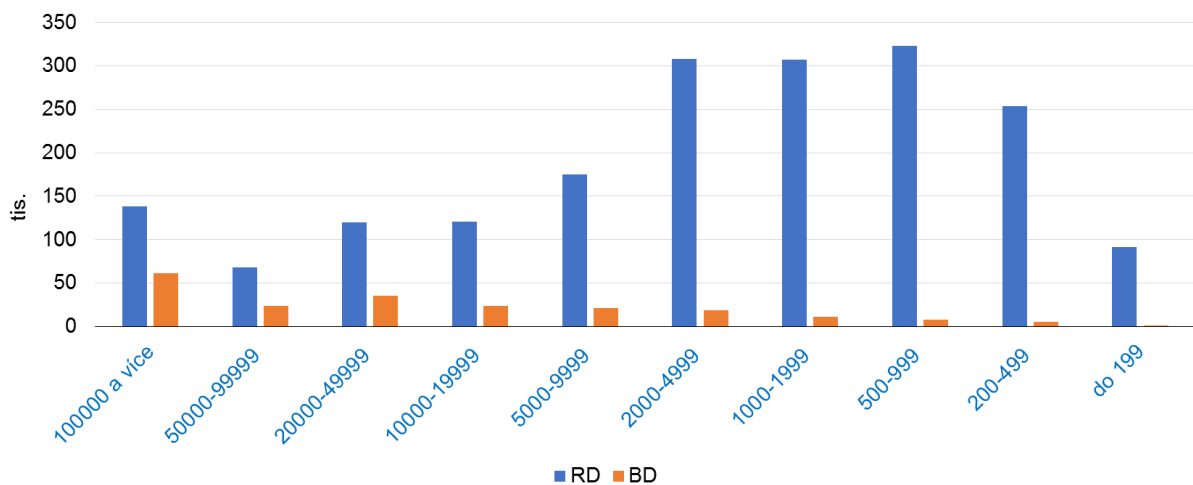
Obrázek 5.3 Pokles chladicího faktoru



Zdroj: tzb-info.cz

Propočtená hodnota SEER pro jednotlivé kraje tak reflektuje rozdíly průměrných teplot a velikostních skupin obcí. Celková potřeba chladu na ČR byla následně stanovena na základě součinu průměrné spotřeby chladu (196,4 kWh) a počtu obyvatel za jednotlivé kraje, v poměru k propočtené hodnotě SEER za jednotlivé kraje.

Obrázek 5.4 Podíl rodinných a bytových domů v ČR dle velikostní skupiny obce



Zdroj: Český statistický úřad

Celková spotřeba elektrické energie pro chlazení v rámci ČR byla stanovena na **571,4 GWh**. Spotřeba elektřiny pro chlazení v ČR byla na základě daných výpočtů expertně vypočtena na **53,4 kWh/os**, a to pro budovy, ve kterých je instalována klimatizace.

### 5.2.2 Sazby pro klimatizace

Díky tomu, že klimatizační jednotky s venkovní jednotkou fungují na stejném nebo podobném principu jako tepelná čerpadla, vztahuje se na ně sazba D 57d. Jedná se o dvoutarifovou sazbu pro vytápění topným elektrickým spotřebičem s platností po dobu 20 hodin. Majitelé klimatizací tak mohou po schválení žádosti distributorem pobírat nízký tarif. Schválení může podléhat splnění různých kritérií, např. prokázání, že pro vytápění objektu je řádně nainstalován a používán systém vytápění s tepelným čerpadlem, který je součástí topného systému a používá se i v zimě jako základní systém pro vytápění. Kritériem může být také prokázání, že klimatizace funguje jako hlavní zdroj vytápění v každé obytné místnosti.

## 6 Stanovení potenciálních úspor

Z předcházejícího textu vyplývá, že v ČR je možné nahradit přibližně 2 606 GWh přímotopného vytápění a přibližně 3 207 GWh přímotopného ohřevu TV vytápěním a ohřevem tepelnými čerpadly. Celkový maximální potenciál tak činí 5 813 GWh. Teoretický potenciál výměny zdrojů tepla je aplikován zejména pro rodinné domy, a to pro rok 2019 (ještě neovlivněn pandemií COVID-19). V následujícím textu bude pro TČ uveden a vyhodnocen potenciál úspor elektrické energie pro vytápění a ohřev (teoretický a technicky proveditelný) a dále vyhodnocení možných úspor elektrické energie pro chlazení.

### 6.1 Vyhodnocení úspory elektrické energie pro vytápění a ohřev TV

Pro vyhodnocení úspor elektrické energie pro vytápění a ohřev jsme vycházeli z výše stanoveného potenciálu pro ČR, tj. z hodnoty 2 606 GWh pro vytápění a 3 207 GWh pro ohřev teplé vody v rámci celého roku<sup>16</sup>. Celkem se jedná o teoreticky možný potenciál ve výši 5 813 GWh. Tento teoreticky maximální potenciál úspory elektrické energie pro vytápění a ohřev TV představuje maximální hodnotu, stanovenou dle dostupných a odvozených údajů. Tento potenciál nereflexuje stavebně technické možnosti, specificky ve městech a jiných lokacích, která mají svá omezení. Typicky se jedná o hlukové limity a limity vzdálenostní pro instalace venkovních jednotek TČ vzduch/voda. Taktéž se jedná o limity pro TČ typu země/voda a voda/voda, kde nemusí být k dispozici dostatečný pozemek, vhodné podloží, či žadatel dostane zamítavé stanovisko z báňského úřadu pro instalaci hlubinných vrtů (typicky kolem 80 m). Pro stanovení realistického technického potenciálu vyšli autoři z dat statistického úřadu a z možností a zkušeností dominantních prodejců TČ v ČR. Konsenzem se dospělo k určení konstanty 25 %, která uvádí, že 25 % spotřeby elektrické energie zdrojů na vytápění a ohřev TV nemůže být nahrazeno TČ.

Reálně uvažovaný potenciál byl vztažen k průměru poměru prodeju kusů nejčastějších typů TČ za tři poslední roky (viz tabulka 5.1), a byla tak stanovena spotřeba elektrické energie při nahrazení vytápění a ohřevu TV pomocí TČ či danou skladbou TČ (a jejich COP). Rozdílem hodnot celkového teoretického potenciálu spotřeby elektrické energie pro vytápění a ohřev TV pomocí přímotopů a pomocí TČ lze stanovit maximální teoretickou úsporu spotřeby elektrické energie. Následující tabulka značí, že v případě 75 % náhrady TČ lze generovat teoreticky maximální úspory spotřeby ve výši 2 994 GWh. Tato hodnota není kalkulována z pohledu ekonomického, který je výrazně komplikovanější.

**Tabulka 6.1 Teoretický maximální potenciál úspory elektrické energie pro vytápění a ohřev TV (GWh)**

	Vzduch/voda	Země/voda	Voda/voda	Celkem
Vytápění v topné sezóně	1 341	98	56	1 495
Ohřev TV v topné sezóně	950	74	44	1 067
Ohřev TV mimo topnou sezónu	390	26	15	431
<b>Celkem</b>	<b>2 681</b>	<b>198</b>	<b>115</b>	<b>2 994</b>
Celkem	89,56%	6,60%	3,84%	100%

<sup>16</sup> Pro vytápění a ohřev TV v topné sezóně a pro ohřev TV mimo topnou sezónu byla koeficientem zohledněna také topná sezóna, tj. pro topnou sezónu období 9 měsíců (koeficient 9/12) a pro sezónu bez topení období 3 měsíců (koeficient 3/12).

Z výše uvedené tabulky je patrné, že maximálního potenciálu lze dosáhnout pomocí tepelných čerpadel vzduch/voda, které jsou investičně nejméně náročné. S ohledem na prodeje typů TČ vzduch/voda lze konstatovat, že tento typ je uvažován pro nejnižší výkony a z pohledu topné sezóny má nejnižší COP.

## 6.2 Vyhodnocení úspory elektrické energie pro chlazení

Odhad spotřeby elektřiny pro chlazení v ČR činí **53,4 kWh/os**, a to pro budovy, ve kterých je instalována klimatizace. Pro celou ČR činí potenciál spotřeby elektrické energie pro chlazení **571,4 GWh**. Pokud tento potenciál porovnáme s vytápěním a s ohřevem teplé vody, zjistíme, že se jedná přibližně o 1/10. Z pohledu možné náhrady přímého chladicího systému za systém pasivní alespoň pro část letní sezóny je třeba vzít v potaz několik skutečností:

- S uvažováním průměrných hodnot tepelné vodivosti zeminy a velikosti vrtu/kolektoru lze odhadovat, že pasivní způsob chlazení vystačí pro 30 až 50 % délky letní sezóny, v závislosti na typu režimu chlazení (přerušované či konstantní) a v závislosti na regeneraci vrtu z předchozího období.
- Z pohledu možný typů TČ jsou pro uvažovaný způsob chlazení vhodné pouze typy země a voda. K těmto systémům jsou poté dodávány výměníky voda/vzduch pro systémy chlazení s centrálním rozvodem vzduchu, nebo je využívána chladicí voda pro fan-coilové jednotky.
- Množství instalací TČ, využívajících jako zdroje energie venkovní vzduch, je oproti ostatním typům dominantní. V roce 2020 se jednalo o 94 %. Při vztahování na ČR a výše stanovený potenciál spotřeby elektrické energie pro chlazení 571,4 GWh se jedná o 34,3 GWh.
- Pokud budeme uvažovat průměrnou úsporu s využitím pasivního chlazení jako 30%, dostáváme se na 10,3 GW. Pokud budeme uvažovat o pravděpodobnosti využití pasivního chlazení pro budovy, kde je nainstalován chladicí systém, dostáváme se o více řádů níže a celková vyjádřená úspora elektrické energie zavedením pasivního chladicího systému do budov, které mají chladicí systém pomocí TČ země/voda, země/vzduch či voda/voda, jsou velmi malé, z pohledu stanoveného reálného potenciálu pro vytápění a ohřev TV v řádech chyby.

## Závěr

Tepelná čerpadla jsou již několik desítek let v povědomí technické veřejnosti jako energetické zdroje s vysokou efektivitou a nízkými provozními náklady, byť vyššími náklady investičními, což jim zpočátku jejich uvedení na trh omezovalo možnosti a klientelu. Jejich zásadní rozvoj a vyšší počty instalací se v ČR objevují v roce 2009, tedy v době ekonomické krize, což právě odkazuje na úsporu elektrické energie.

Publikace dává čtenáři přehled a povědomí o různých možnostech vytápění a chlazení tepelnými čerpadly a dává je do kontextu s tepelnou pohodou vyjádřenou pomocí stavu vnitřního mikroklimatu. Tepelná pohoda je klíčovým stavem prostředí, kde se člověk cítí příjemně. Otopný systém a režim vytápění výrazně ovlivňuje tepelnou pohodu. V případě návrhu nového domu či celého otopného systému se počítá s určitým stavem tepelné pohody. V případě pouhé výměny zdroje se celý systém vytápění, regulace a setrvačnosti výrazně mění a může do tepelné pohody výrazně zasáhnout. Z pohledu pasivního chlazení prostor pomocí TČ země/vzduch či voda/vzduch se tepelná pohoda příliš nemění a nezasahuje do užívání budovy.

V publikaci je představena historie a současnost tepelných čerpadel i chladicích zařízení, jsou popsány jejich aspekty, specifika a jsou uvedeny sumáře prodeje jak v ČR, tak v Evropě. Tepelná čerpadla jsou také zmíněna v mnoha legislativních dokumentech a jsou podporována v rámci evropských politik. Taktéž v rámci ČR je na výměnu zdroje za efektivní TČ možné využít dotaci z programu Nová zelená úsporám, který má také příjmy z prodeje emisních povolenek, které jsou v posledních dvou letech velmi vysoké. V publikaci je detailně představen koncept a princip činnosti tepelného čerpadla a objasněn důvod, proč je jeho topný faktor vyšší jak 100 %, zcela běžně 250 až 450 %. Jsou uvedeny výpočty a názorně ukázány grafy, ze kterých je patrná závislost účinnosti TČ na teplotě okolí, ze kterého odebírá nízkopotenciální energii.

Klíčová je kapitola stanovení potenciálu úspory elektrické energie v ČR, kde je pomocí dvou různých metod, využívaných ve firmě autorského týmu, stanoven potenciál spotřeby elektrické energie pro sektor domácností na vytápění i ohřev teplé vody. Pomocí definované spotřeby, topného výkonu, typových prodejů TČ a rozličných okrajových podmínek je následně kalkulována úspora elektrické energie za předpokladu, že by většina přímotopů vč. akumulace byla nahrazena tepelnými čerpadly. Tato úspora reflektuje skutečnost, že na vícero místech není náhrada za TČ možná z geografického, hygienického či technického pohledu. Potenciál reálné úspory elektrické energie pro přípravu TV a vytápění byla stanovena jako 75 % možného maxima, tedy 2 994 GWh, což lze přirovnat k roční spotřebě 1,5 mil. elektromobilů (při průměrné spotřebě 20 kWh/100 km a ročnímu nájezdu 10 tis. km).

Tepelná čerpadla jsou také defacto chladicími jednotkami. Je možné využít TČ, která předávají energii skrze vzduch pro (suché) chlazení. Chlazení je velmi specifická činnost, která je energeticky velmi náročná a z technického hlediska není tak triviální, jako vytápění. Potenciál potřeby chladu autorský tým odhadl na základě dříve řešených obdobných studií pro města a oblasti a aplikoval tyto výpočty na ČR. Tato technologie je využitelná pro specifické případy a má šetrné environmentální dopady, nicméně její masové využití, analogicky jako např. využití podobných technologií (zemní výměník tepla) pro přímé chlazení, není v našich geografických možnostech vhodné uvažovat pro kalkulaci potenciálu úspor elektrické energie. V případě suchého chlazení skrze nástěnné jednotky lze uvažovat o možnosti využití pasivního chlazení. Tyto jednotky fungují zejména na principu země/voda (a dále konverze na vzduch) či voda/voda (a dále konverze na vzduch). Takových jednotek je ale zanedbatelné množství v celé sumě skladby tepelných čerpadel určených pro zajištění tepelné pohody v sektoru domácností. Potenciál úspory elektrické energie by byl kalkulován v řádech chyby, proto není vyčíslen. Informace o instalacích se liší, a to od „nevyrábí se“ po „dodáváme stovky ks/ročně“. I tak je možné částečné využití pro chlazení bez nutnosti zapojení výparníku, ale pouze pro část období, než se energeticky vybijí zdroj chladu.

Tento systém se dá s velmi výhodně využít jako oboustranná regenerace vrtů či plošných kolektorů po chlazení i po vytápění.

S ohledem na potenciál úspory elektrické energie náhradou přímotopů, ohřevu TV či pasivního chlazení lze dále problematiku rozvinout do sektoru administrativních budov či průmyslu, dále využívat TČ pro SCZT, využití energie z odpadních vod či náhrady přímotopů v prostředcích MHD v rámci pomocných spotřeb. Na to však již kapacita této publikace nestačí.

## Seznam zkratek

COP	Coeficient of Performance (výkonnostní faktor)
CZT	centrální zásobování teplem
EER	Energy Efficiency Ratio (výkonnostní faktor u chladících zařízení)
EGD	European Green Deal (Zelená dohoda pro Evropu)
EHPA	European Heat Pump Association
EK	Evropská komise
ER	Evropská rada
ERÚ	Energetický regulační úřad
EU	Evropská unie
HRE	Heat Roadmap Europe
KVET	kombinovaná výroba elektřiny a tepla
MPO	Ministerstvo obchodu
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NT	nízký tarif
OTE	operátor trhu s elektřinou a plynem
OZE	obnovitelné zdroje energie
RES	rejstřík ekonomických subjektů
SCOP	Seasonal Energy Efficiency Ration (sezónní výkonnostní faktor)
SCZT	soustava centrálního zásobování teplem
SEER	Seasonal Coeficient of Performance
SLDB	Sčítání lidu, domů a bytů
SPER	sezonní koeficient primární energie
TČ	tepelné čerpadlo
TDD	typové diagramy dodávky
TF	topný faktor
TV	teplá voda
VT	vysoký tarif

## Zdroje informací

Aalborg University, Halmstad University, PlanEnergi (2012). Heat Roadmap Europe 2050. Dostupné z: <https://www.euroheat.org/wp-content/uploads/2016/04/Heat-Roadmap-Europe-I-2012.pdf>

Ahmed, T. (2012). Performance Investigation of Building Ventilation System by Calculating Comfort Criteria through HVAC Simulation. Journal of Mechanical and Civil Engineering. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/Performance-Investigation-of-Building-Ventilation-Ahmed/d31dcf29f3b2babc824157a3ce9a66055f2c9e3b>

ashrae-meteo (nedatováno). ASHRAE CLIMATIC DESIGN CONDITIONS 2009/2013/2017. Dostupné z: <http://ashrae-meteo.info/v2.0/>

Ciprés, M. S. (2017). Heat pumps: what are the next key dates in the EU?. Dostupné z: <https://www.carel.com/blog/-/blogs/heat-pumps-what-are-the-next-key-dates-in-the-eu>

clausius, Universida de Vigo (nedatováno). Ground source heat pumps. Dostupné z: <https://www.clausius.es/en/geothermal-energy/>

ČAJA, Alexander, Andrej KAPJOR, Ján TUHOVČÁK a Jiří HEJČÍK, 2020. Chladiace obehly a tepelné čerpadlá. Žilina: Žilinská Univerzita v Žilině. ISBN 978-80-8143-262-0.

Český statistický úřad (2014). Sčítání lidu, domů a bytů 2001. Hospodařící domácnosti. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/13-2130-03--5\\_3\\_hospodarici\\_domacnosti](https://www.czso.cz/csu/czso/13-2130-03--5_3_hospodarici_domacnosti)

Český statistický úřad (2021). Sčítání lidu, domů a bytů. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/sldb/domov>

ČHMÚ (neuvedeno). Portál ČHMÚ: Historická data: Počasí: Územní teploty (chmi.cz).

EHPA (2021). #Fitfor55: EU needs to double down on renewable heating and cooling. Dostupné z: [https://www.ehpa.org/fileadmin/red/03.\\_Media/03.03\\_Press\\_releases/2021\\_press\\_releases/20210714\\_Fitfor55\\_PR.pdf](https://www.ehpa.org/fileadmin/red/03._Media/03.03_Press_releases/2021_press_releases/20210714_Fitfor55_PR.pdf)

EHPA (2021). Heat pumps sales overview. Dostupné z: [http://www.stats.ehpa.org/hp\\_sales/story\\_sales/](http://www.stats.ehpa.org/hp_sales/story_sales/)

ERÚ (2015). Regulační výkazy pro držitele licence na činnost číslo 12 - distribuce elektřiny.

ERÚ (2017). „Co pohlídat v nabídce na tepelné čerpadlo?“. Dostupné z: <https://www.eru.cz/-/e2-80-9eco-pohlidat-v-nabidce-na-tepelne-čerpadl-1>

European Commission (2018). Guidelines accompanying Regulation (EU) 2016/2281 with regard to ecodesign requirements for air heating products, cooling products, high temperature process chillers and fan coil units. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/guidelines\\_air\\_heating\\_products\\_-\\_final.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/guidelines_air_heating_products_-_final.pdf)

European Commission (2020). The availability of refrigerants for new split air conditioning systems that can replace fluorinated greenhouse gases or result in a lower climate impact. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/news/docs/c\\_2020\\_6637\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/news/docs/c_2020_6637_en.pdf)

European Commission (2021). New EU rules to boost energy efficiency of electric motors. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/info/news/new-eu-rules-boost-energy-efficiency-electric-motors-2021-jun-30\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/new-eu-rules-boost-energy-efficiency-electric-motors-2021-jun-30_en)

European Heat Pump Association (2021). #Fitfor55: EU needs to double down on renewable heating and cooling. Dostupné z:



[https://www.ehpa.org/fileadmin/red/03.\\_Media/03.03\\_Press\\_releases/2021\\_press\\_releases/20210714\\_Fitfor55\\_PR.pdf](https://www.ehpa.org/fileadmin/red/03._Media/03.03_Press_releases/2021_press_releases/20210714_Fitfor55_PR.pdf)

Evropská komise (2014). Sdělení Komise 2014/C 207/02 v rámci provádění Nařízení Komise 813/2013 a 811/2013, Brusel 2014.

Evropská komise (2014). Sdělení Komise 2014/C 207/03 v rámci provádění Nařízení Komise 814/2013 a 812/2013, Brusel 2014.

Evropská komise (2016). NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2016/2281. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R2281&from=HU>

Frank Bold Advokáti (2016). Právní aspekty provozování tepelného čerpadla. Dostupné z: <https://www.fbadvokati.cz/cs/clanky/446-pravni-aspekty-provozovani-tepelneho-cerpadla>

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE (2019). WPsmart im Bestand. Heat Pump Field Trial – Focus Existing Buildings and Smart Control. Dostupné z: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/research-projects/wpsmart-im-bestand-heat-pump-field-trial-focus-existing-buildings-and-smart-control.html>

Hruška, J. (2015). Topíme přímotopem: Pravdy a mýty. Dostupné z: <https://www.usetreno.cz/topite-primotopem/>

CHIASOON, Andrew D. (2016). Geothermal Heat Pump and Heat Engine Systems: Theory and Practice. West Sussex (United Kingdom): John Wiley. ISBN 781118961940.

Klimasvět (2021). S klimatizací k levnějšímu praní i vaření? Jde to. Dostupné z: <https://www.klimasvet.cz/clanky/s-klimatizaci-k-levnejsimu-prani-i-vareni-jde-to/>

LUPTÁK, Ladislav a Lubomír ŠMARDA. Učební text pro obor Instalatér, 2. ročník [online]. Brno: Střední škola polytechnická, Brno, Jílová 36g, 2016. ISBN 978-80-88058-29-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/176/Cover.html>

Ministerstvo životního prostředí (2021). Minimanuál na kotlíkové dotace 2021-2022. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/news\\_20210726-Minimanual-na-kotlikove-dotace-2021-2022](https://www.mzp.cz/cz/news_20210726-Minimanual-na-kotlikove-dotace-2021-2022)

MPO, Ing. Petr Kotek, Ph.D. (2018) Elektrické přímotopy. Katalog úsporných opatření. Dostupné z: <http://www.kataloguspor.cz/Instalace-elektrickych-primotopu.html>

MPO, Oddělení analýz a datové podpory koncepcí, Ing. Aleš Bufka, Ing. Miloslav Modlík, Ing. Jana Veverková, Ph.D. (2019). Tepelná čerpadla v letech 1981–2018. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2019/5/Tepelna-cerpadla-1981-2018-final-verze.pdf>

MPO, Oddělení analýz a datové podpory koncepcí, Ing. Aleš Bufka, Ing. Miloslav Modlík, Ing. Jana Veverková, Ph.D. (2021). Tepelná čerpadla v letech 1981 až 2020; druhy, vývoj, prodeje, výkony, tepelné faktory. vytapeni.tzb-info.cz. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/19284-tepelna-cerpadla-v-letech-1981-2019-druhy-vyvoj-prodeje-vykony-tepelne-faktory>

Nařízení Komise 811/2013 o uvádění spotřeby energie na energetických štítcích ohřivačů pro vytápění vnitřních prostorů, kombinovaných ohřivačů, souprav sestávajících z ohřivače pro vytápění vnitřních prostorů, regulátoru teploty a solárního zařízení a souprav sestávajících z kombinovaného ohřivače, regulátoru teploty a solárního zařízení. Brusel 2013.

Nařízení Komise 812/2013 o uvádění spotřeby energie na energetických štítcích ohřivačů vody, zásobníků teplé vody a souprav sestávajících z ohřivače vody a solárního zařízení. Brusel 2013.

projektuj-tepelna-cerpadla.cz, (neuveдено). Pasivní chlazení tepelným čerpadlem. Dostupné z: <https://www.projektuj-tepelna-cerpadla.cz/cz/pasivni-chlazení-tepelnym-cerpadlem>

PZP Tepelná čerpadla (nedatováno). Distribuční sazba pro TČ. Dostupné z: <https://www.tepelna-cerpadla-pzp.cz/cs/m-194-distribucni-sazba-pro-tc>

Schindler, J., Ing. (2020). Jak počítá Kalkulátor cen energií průměrné spotové ceny. tzb-info.cz. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energi/20236-jak-pocita-kalkulator-cen-energi-prumerne-spotove-ceny>

Sedlář, J., Ing., ČVUT v Praze Univerzitní centrum energeticky efektivních budov (2015). Hodnocení SCOP tepelných čerpadel pro vytápění. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13507-hodnoceni-scop-tepelnych-cerpadel-pro-vytapeni>

Sedlář, J., Ing., ČVUT v Praze Univerzitní centrum energeticky efektivních budov (2015). Štítkování a ekodesign tepelných čerpadel pro vytápění a kombinovaných tepelných čerpadel. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13141-stitkovani-a-ekodesign-tepelnych-cerpadel-pro-vytapeni-a-kombinovanych-tepelnych-cerpadel>

Tenaur (nedatováno). Vrt pro tepelné čerpadlo. Dostupné z: <https://www.tenaur.cz/vrt-pro-tepelne-cerpadlo/>

Trier, D., Rothballer, C., Stiff, G., Mathiesen, B. V. (2018). Guidelines for the Energy System Transition: The Energy Union Perspective – Heat Roadmap Europe. Dostupné z: <https://vbn.aau.dk/en/publications/heat-roadmap-europe-4-guidelines-for-the-energy-system-transition-4>

tzl-info.cz, (nedatováno). Příprava teplé vody. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody>

tzl-info.cz, (nedatováno). Vytápíme elektřinou. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-elektrinou>

Vlček, P., Ing., Formánek, M., Ing. Ph.D. (2013). Dopad výměny ekologických chladiv na chladicí techniku. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vetrani-klimatizace/9538-dopad-vymeny-ekologicky-chladiv-na-chladici-techniku>



[www.egubrno.cz](http://www.egubrno.cz)