

12. Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla, termokomprese, předčerpávání tepla, to vše jsou v principu synonyma pro jeden děj. Na rozdíl od všech termodynamických transformačních oběhů, kde dodáváme teplo, abychom dostali mechanickou práci, běží tyto oběhy obráceně. Přívodem mechanické práce a nízkopotenciálního tepla dostáváme tepelnou energii s vyšším obsahem exergie. Někdy však ani tuto vysoce hodnotnou energii nepotřebujeme a potřebné „stlačení“ provedou místo kompresoru sorpční reakce.

12.1 Fyzikální principy využití energie okolí

Využití energie okolí (země, voda, vzduch) je umožněno na základě fyzikálních (termodynamických) závislostí, zejména první a druhé termodynamické věty a termodynamické transformace.

První věta vyjadřuje nezničitelnost energie při její transformaci, i když každá přeměna je spojena se ztrátami (např. třením atd.). Reverzibilní pochody jsou jen teoretickým ideálem, kterého se v praxi nedá dosáhnout. Z toho důvodu není možné realizovat „perpetuum mobile“, o což se v minulosti snažilo mnoho lidí (před objevem zákonů termodynamiky i vědců).

Druhá termodynamická věta vyjadřuje, že teplo se nedá beze zbytku převést na jiné formy energie. Kdyby tak tomu nebylo, bylo by možné zkonstruovat tzv. perpetuum mobile druhého řádu; např. by bylo reálné zařízení, které by z mořské vody získalo teplo, jímž by se poháněla loď, přičemž ochlazená voda by se vracela do moře a toto ochlazovala (lze však využít teplotních rozdílů v moři).

Stupeň transformovatelnosti	Formy energie
1 Formy energie neomezeně transformovatelné	energie potenciální, kinetická, tlaková užitečná práce, energie mechanická a elektrická
2 Formy omezeně transformovatelné	vnitřní energie systému, který není v rovnováze s okolím, teplo o teplotě $T > T_0$, energie chemická (výhřevnost paliv)
3 Formy netransformovatelné	vnitřní energie systémů jsoucích v rovnováze s okolím, teplo o teplotě okolí, výtlačná práce proti atmosférickému tlaku

Tab. 1: Hierarchie forem energie podle jejich transformovatelnosti

12.1.1 Energie a entropie

Pro všechny ireverzibilní pochody v přírodě je příznačné, že neustále klesá množství energie využitelné pro konání práce. Přesněji je tato okolnost popsána entropií, což je stavová veličina

$$\left(S = \frac{dQ}{dT} \right)$$
 látky, kterou chceme popsat, přičemž vyjadřuje diferenciální vztahy množství tepla k teplotě v ohraničeném (uzavřeném) systému. Reverzibilní a ireverzibilní proces se odlišuje tím, že v prvním případě je entropie konstantní, v druhém entropie látky narůstá. Z toho odvodil R. Clausius v minulém století „teplnou smrt“ vesmíru na základě vyrovnání teplot a dosažení maxima entropie.

Druhá termodynamická věta i pojem entropie platí pro uzavřené systémy. Tento předpoklad však neplatí pro vesmír a rovněž v atomové fyzice ztrácí smysl. V každém případě však přírůstek entropie platí pro všechny fyzikální systémy a všechny technologie přeměn energie, které lze v budoucnu vytvořit. Tím je dána i určitá omezenost využití a přeměn energie a předurčena budoucnost energetiky.

12.1.2 Energie = exergie + anergie

Exergie je ta část, která může být transformována beze ztrát na vyšší formy energie, hlavně na energii mechanickou, zbytek tepelné energie – **anergie** – může sloužit jen k ohřívacím účelům. Jestliže exergii během transformace ztrácíme, znamená to, že jsme jí dovolili přejít na anergii. Součet těchto dvou komponent během transformace je stálý. Všechny prakticky známé tepelné procesy jsou nevratné, jejich průběh neumíme obrátit (škracení par, přestup tepla z teplejší na chladnější látku).

1. věta termodynamiky: Zákon o zachování energie	Součet exergie a anergie zůstává konstantní při všech procesech. Energii nelze zničit.
2. věta termodynamiky: Zákon o znehodnocování energie	Při všech nevratných procesech se mění exergie na anergii. Exergie zůstává konstantní jen u úplně vratných procesů.
Doplňek 2. věty: Nemožnost perpetua mobile 2. druhu	Není možné žádným způsobem přeměnit anergii na exergii.

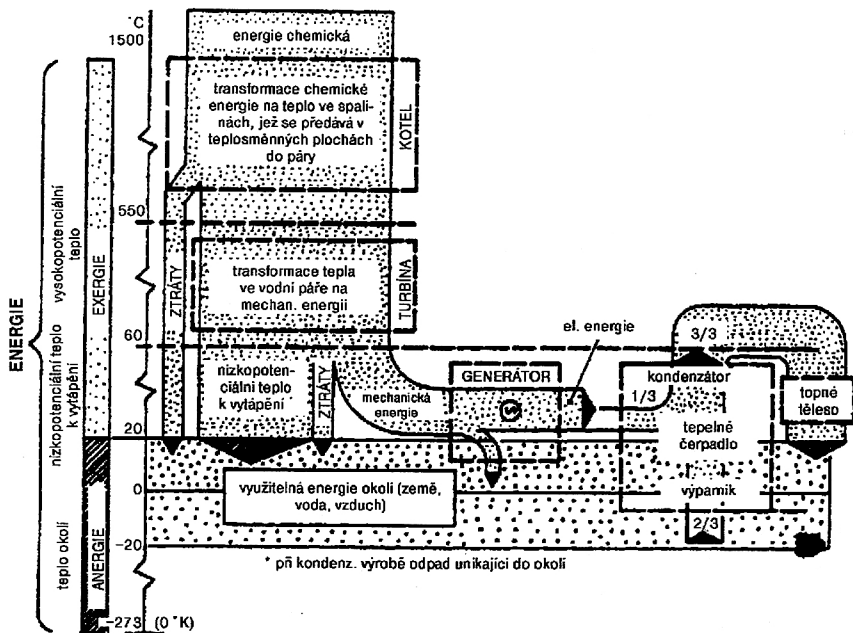
Tab. 2: Formulace 1. a 2. věty termodynamiky pomocí exergie

12.1.3 Levotočivý Carnotův kruhový oběh

Pomocí levotočivého Carnotova kruhového oběhu, technicky realizovaného jako tepelné čerpadlo, lze transformovat část anergie, tj. energie okolí, na teplo o vyšší teplotě a použít pro vytápění.

Zařízení	Užití tepla	Zdroj odpadního tepla pro čerpadlo
Prádelny	teplá voda	odpadní voda z praní
Textilní závody - barvírny	teplá voda	odpadní teplá voda
papírny	teplá voda	odpadní teplá voda
Zemědělské provozy	teplá voda, otop vybraných prostorů	odpadní vzduch z chlévů a lhní
Klimatizační zařízení	ohřev čerstvého vzduchu	odcházející znečištěný vzduch
Sušárny	předehřev sušičiho vzduchu	odpadní vlhký vzduch ze sušičiho procesu
Průmyslové provozy	teplá voda otop	chladicí voda s nízkopotenciálním teplem

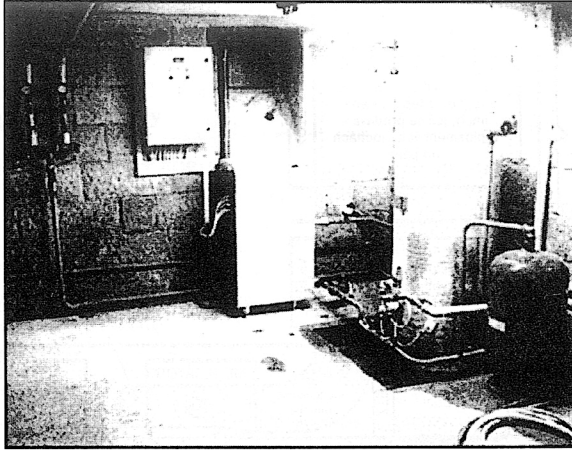
Tab. 3: Možnosti využití tepla tepelnými čerpadly



Obr. 1: Celkový tok energie při jednotlivých druzích transformace energie primárních zdrojů

Typ čerpadla ochlazuje se/ohřívá se	Možnosti použití
vzduch/voda	univerzální typ, pro ústřední vytápění
vzduch/vzduch	jako doplňkový zdroj tepla též pro teplovzdušné vytápění, klimatizaci
voda/voda	pro využití odpadního tepla, geotermální energii
solanka/voda	pro ochlazování půdy, povrchové vody, pro nízkoteplotní zdroje tepla obecně
voda/vzduch	pro teplovzdušné vytápěcí systémy

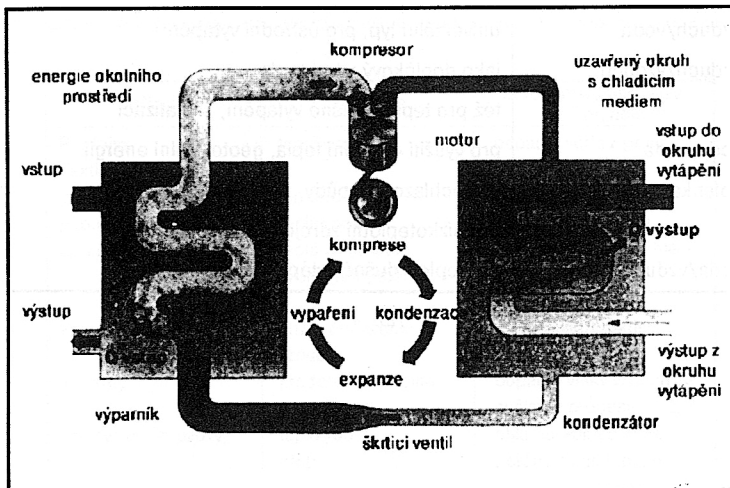
Tab. 4



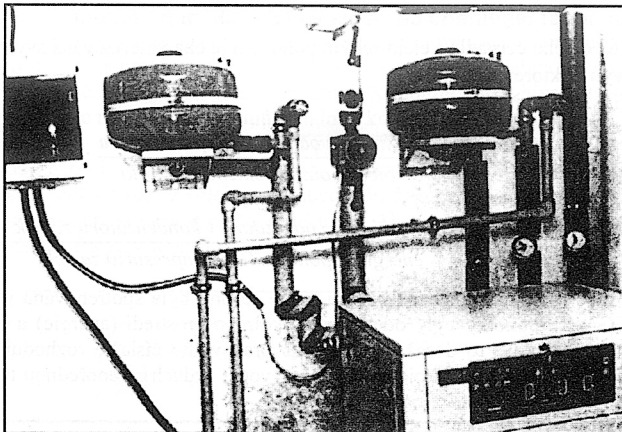
Obr. 2: Pohled do kotelny s tepelným čerpadlem

12.2. Termodynamický princip vytápění tepelným čerpadlem

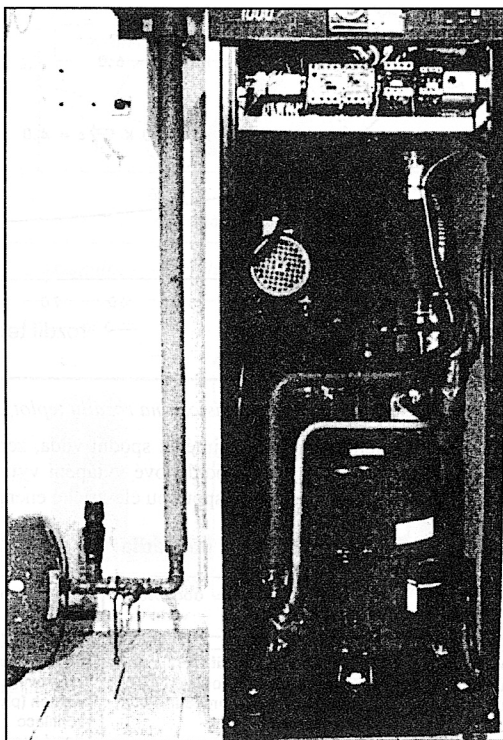
Kruhový oběh (proces) tepelného čerpadla odpovídá termodynamicky procesu v chladničce, přičemž teplo (anergie vzduchu, země, vody, odpadního tepla) se předává ve výparníku a odebírá v kondenzátoru (užité teplo s vyšší teplotou). Pracovní prostředek (chladiivo) je tekutina, která se odpařuje již při nízkých teplotách. Cirkuluje v okruhu, přičemž nastává postupně odpaření, komprese, zkapalnění a expanze. Jde o obrácený oběh, než je v chladničce. V této souvislosti je vhodné poznamenat, že tento termodynamický proces se např. v domácnostech používá k výrobě chladu (chladničky, mrazničky, klimatizace) téměř ve 100 %, zatímco k výrobě prostorového tepla (vytápění) jen v 1–2 %.



Obr. 3: Princip tepelného čerpadla



Obr. 4: Pohled do kotelny rodinného domku a instalaci tepelného čerpadla



Obr. 5: Pohled na vnitřek tepelného čerpadla

12.2.1 Účinnost tepelného čerpadla s elektrickým pohonem

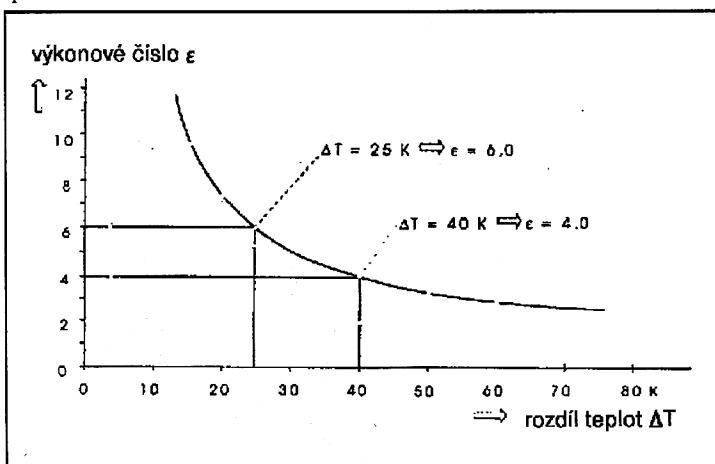
Účinnost tepelného čerpadla s elektrickým pohonem je charakterizována svým:

- výkonovým faktorem (číslem);
- pracovním faktorem (číslem).

$$\text{Výkonový faktor (číslo) } e = \frac{\text{tepelný výkon odevzdaný kondenzátoru}}{\text{výkon pohonu tepelného čerpadla}};$$

$$\text{Pracovní faktor (číslo) } b = \frac{\text{množství tepla odevzdané v kondenzátoru za rok}}{\text{energie k pohonu TC (kompresoru) za rok}}.$$

Pracovní číslo 4 vyjadřuje, že v průběhu topné sezóny byla spotřebována jedna jednotka pro pohon TČ a tři jednotky byly odebrány z okolního prostředí (energie) a čtyři jednotky představují užité teplo. Pro dosažení vysokého pracovního čísla je rozhodující co možná nejmenší rozdíl mezi teplotou zdroje okolí (země, voda, vzduch) a dopřednou teplotou systému vytápění.



Obr. 6: Výkonové číslo v závislosti na rozdílu teplot

Konstantní teplotu během celého roku mají zejména: spodní voda, zemní teplo a odpadní tepla (z průmyslu a domácností). Nízkoteplotní podlahové vytápění vytváří nejlepší předpoklady pro vysoké pracovní číslo a tím pro nízkou spotřebu elektrické energie.

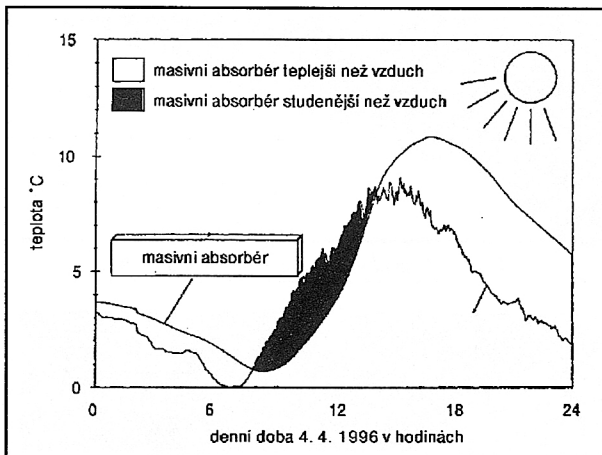
13.2.2 Zdroje tepla (energie) pro tepelná čerpadla

povrchová voda	podzemní voda	odpadní teplo	oběhová voda	vzduch	zemní zdroje
říční voda, mořská voda, jezerní voda	spadní voda, studniční voda, hlubinná voda, termální voda	chladicí voda, odpadní voda z průmyslu, z domácností	sif CZT, vodovodní síť, procesní voda	okální vzduch, výfukový vzduch (plyny), ventilace domácností, procesní teplo, absorbery	zemní ventilační sandy, ze mni kolektroy, horizontální geotermické teplo

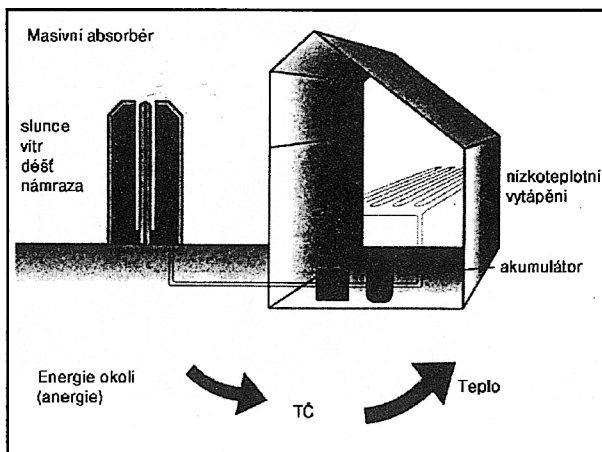
Teplota ovzduší

Teplota ovzduší je k dispozici všude, podléhá však během roku teplotním výkyvům. Využití ovzduší pro TČ není problematické, avšak je cenově dražší. Nabízí se provedení TČ vzduch/voda pro umístění vně, nebo uvnitř objektu. Většinou je nutný bivalentní provoz, poněvadž pracovní číslo je nižší než u systémů s půdním kolektorem.

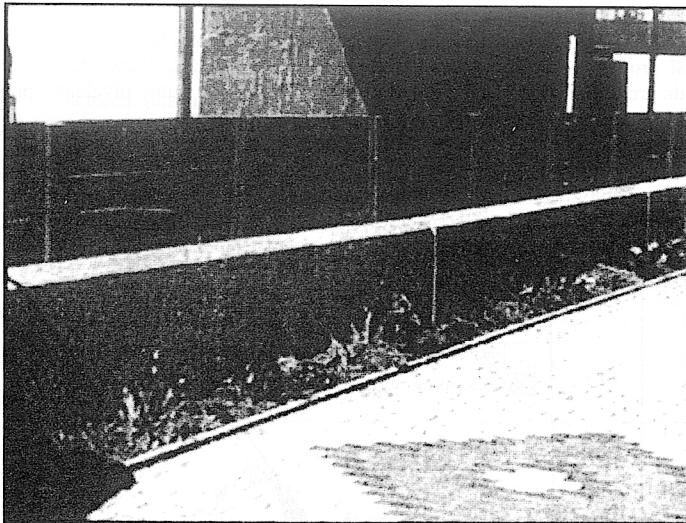
Zvláštním případem je využití tepla ovzduší přímým ozářením masivního tělesa Sluncem (Trompeho stěna), např. betonové stavební prvky ve formě bloků, stěn, ohrad apod. Využívá se absorpční technologie, přičemž kolektor je zabudován do masívu stavebního prvku (získání tepla je stejné jako při použití pro sluneční kolektory). Absorpční plochy činí cca 1/3 otáčené plochy. Absorpční tělesa nepodléhají žádnému omezení z hlediska předpisů pro životní prostředí.



Obr. 7: Akumulace solárního záření v masivním absorptéru



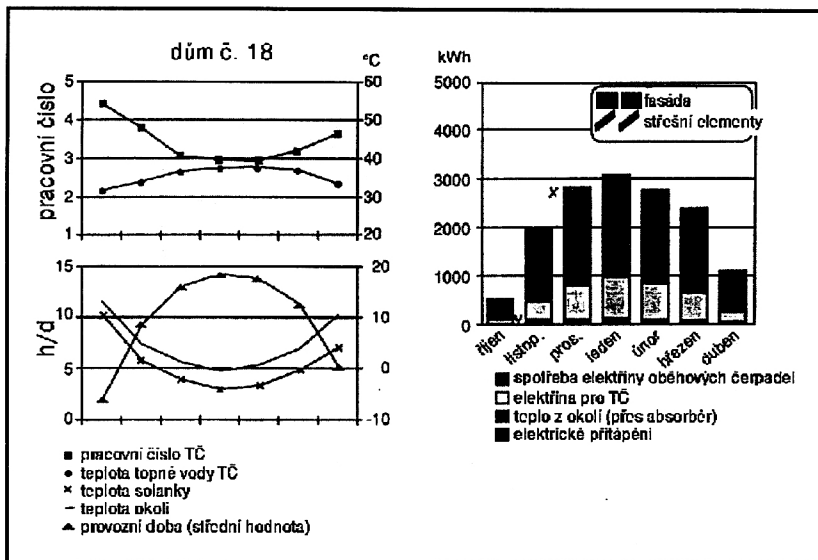
Obr. 8: Princip otočného systému s masivním absorptérem



Obr. 9: Zahradní zídka jako masivní absorbér



Obr. 10: Dům s garáží jako absorbérem



Obr. 11: Provozní údaje domu během topného období 95/96

Rozsah teploty vzduchu (vnějšího ovzduší) je $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$. V tomto řpádě je možné jednotlivý rod. dům většinou provozovat monovalentně (bez druhého zdroje tepla) do teploty ovzduší $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při nižších venkovních teplotách je možné zapnout přídavné elektrické vytápění. Při správném dimenzování systému s TČ pokrývá přídavné elektrické vytápění 5 až 10 % roční spotřeby tepla. Zvláštní výhodou je jednoduchá instalace – bez zemních prací nebo vrtů.

Teplø vody

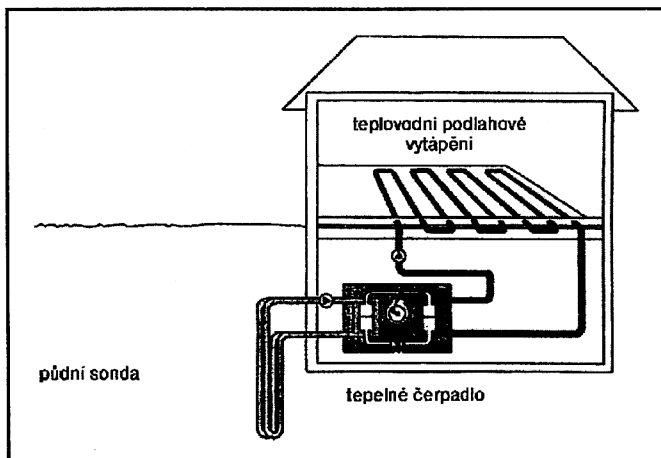
Spodní voda akumuluje sluneční teplot. I při nejstudenějších zimních dnech neklesá teplota spodní vody pod $8\text{--}12\text{ }^{\circ}\text{C}$, což je optimální teplota pro nasazení TČ. Spodní voda však není všude v dostatečné kvalitě k dispozici. V zahraničí je nutný úřední vřdohospodářský souhlas.

Teplø zeminy (půdy)

Zemní kolektory

Rovněž teplota půdy je důsledkem slunečního záření, které je buď přímým ozářením nebo prostřednictvím deště a větru přijímáno do půdy. Akumulované teplot v půdě se přebírá horizontálně položeným výměníkem – zemními kolektory a dodává do TČ. Tyto kolektory se používaly již v sedmdesátých letech. Při správném dimenzování lze dosáhnout přijatelné pracovní číslo. Nejlépe se osvědřilo uložení do hloubky 1,2 až 1,5 m. Teplota pracovní látky může v zimě poklesnout až na $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, avšak brzo na jaře nastává regenerace.

V minulosti při velké spotřebě tepla objektů (před nařizením k tepelné izolaci) bylo zapotřebí velkých ploch. Dimenzování závisí na vlastnostech půdy. Možný zisk výkonu činí 20 až 40 W/m délky trubky. Nejlepší zkušenosti byly zaznamenány při položení s 25–40cm roztečí trubek. Často lze výměník upevnit podle úprav vnějších ploch např. zahrady.



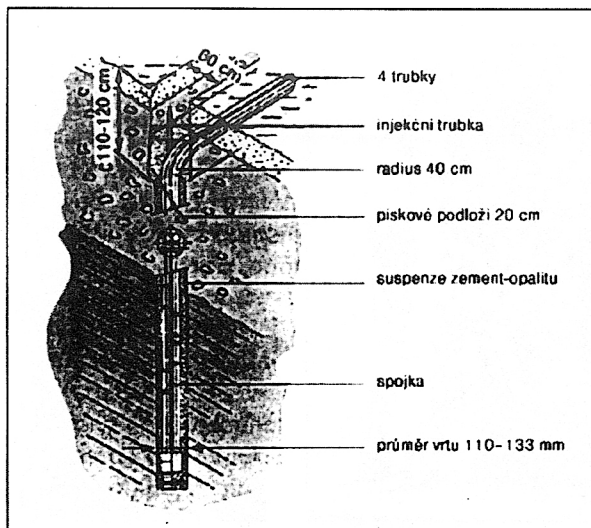
Obr. 12: Schéma půdní sondy a podlahového vytápění

Vertikální půdní sondy

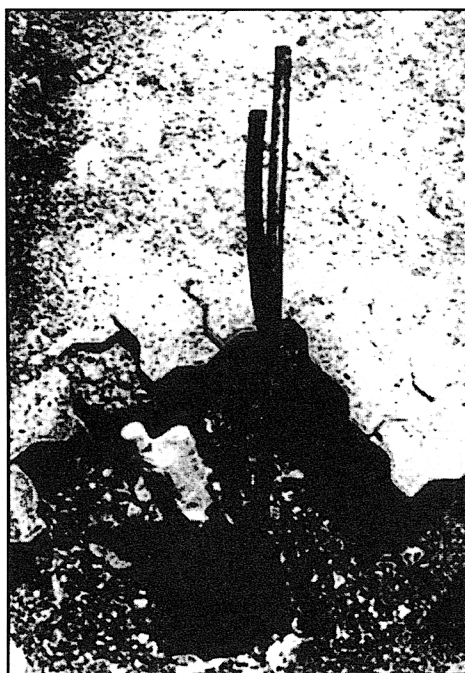
Půda má od hloubky 15 m téměř konstantní, roční dobou neovlivněnou teplotu cca 10 °C. Půdní sondy se provádějí do hloubky 30 až 100 m a to pomocí vrtacích souprav. Osvědčila se sonda ve tvaru U (obr.) Pracovní látka (voda s prostředkem proti zamrznutí) proudí trubkami z umělé hmoty z rozdělovače ve dvou paralelních trubkách dolů, cirkuluje dvojitou trubkou ve tvaru U nebo speciální hlavici a vrací se zpět k rozdělovači – sonda tvoří dvě dopředné a dvě zpáteční trubky (průměr trubky 25 až 32 mm). Půdní vrt se naplní pak tekutým plnidlem (např. bentonit) tak, aby byl zajištěn přechod tepla z půdy do sondy. Současně se tím zamezí propojení různých horizontů spodní vody.

obytná plocha m ²	Specifické tepelné zatížení (W/m ²)			
	30	40	50	60
100	70	100	120	140
125	90	120	150	180
150	110	140	180	210
175	130	170	210	250
200	140	190	240	290

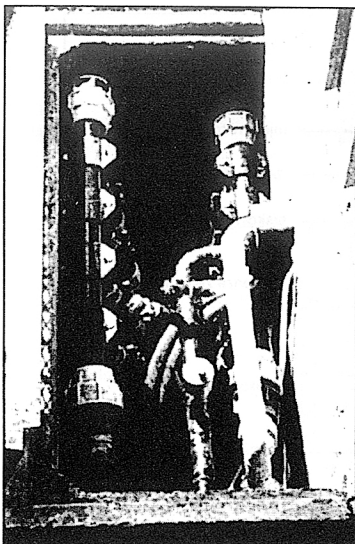
Tab. 5: Potřeba plochy pro horizontální kolektor v závislosti na obytné ploše a specifickém tepelném zatížení



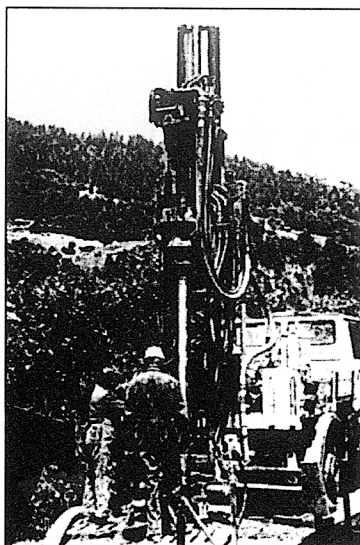
Obr. 13: Schéma zemní U-trubkové sondy



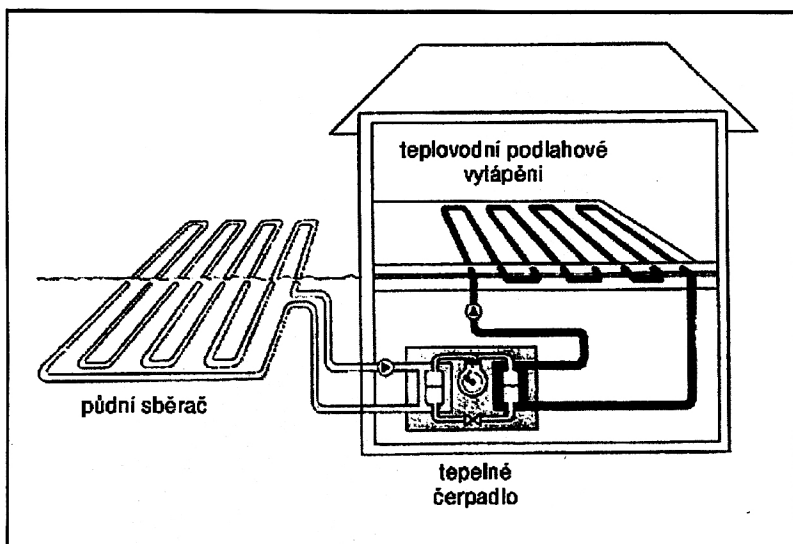
Obr. 14: Napojení na sondu po naplnění vrtu bentonitem



Obr. 15: Sběrač a rozdělovač v šachtě pod oknem sklepa

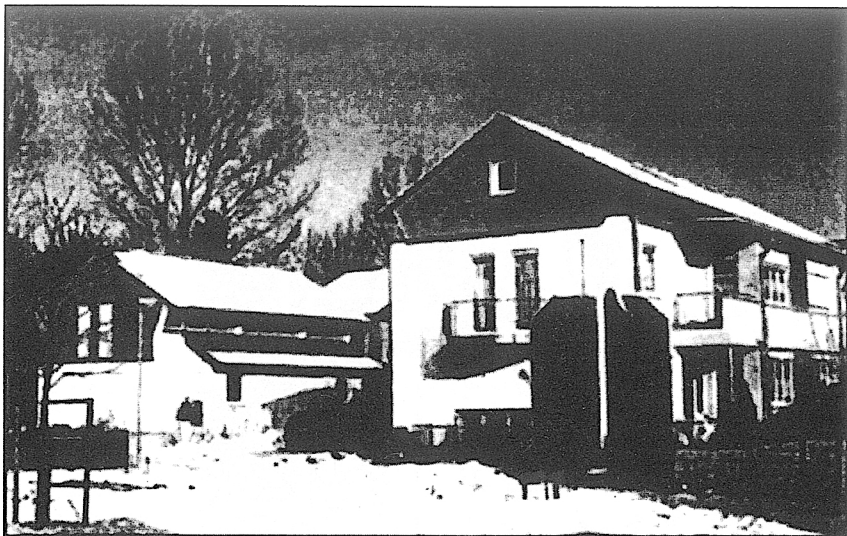


Obr. 16: Půdní sonda, vrtání až do 100 m hloubky

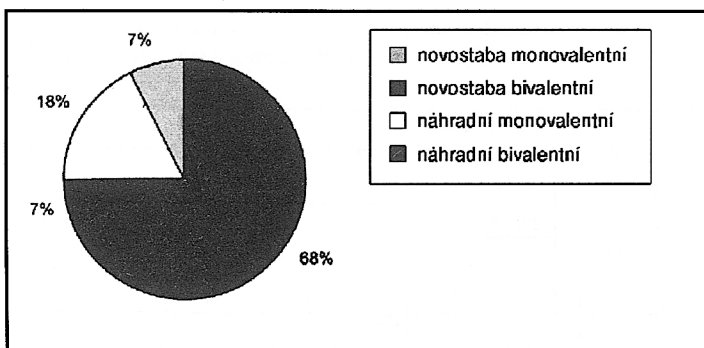


Obr. 17: Schéma plošného trubkového sběrače a vytápění pomocí TČ

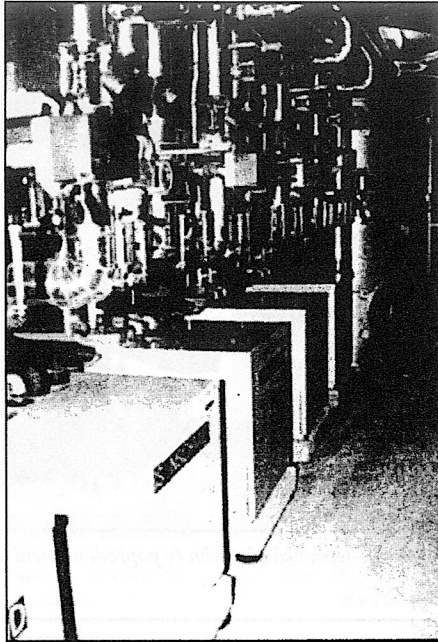
Při suché písčité půdě je možné použít více paralelních sond.



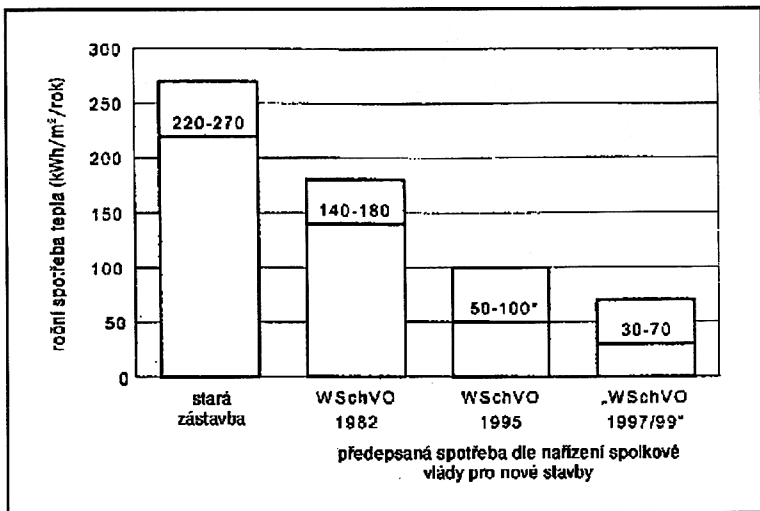
Obr. 18: Solárně-termická zástavba (v popředí masivní absorbér)



Obr. 19: Způsoby provozu TČ v roce 1994 (SRN)



Obr. 20: Více TČ pro řadu rodinných domků nebo větší objekty



Obr. 21: Roční spotřeba tepla staré zástavby a nové zástavby dle nařízení spolkové vlády SRN 1982, 1995 a 1999

12.3 Současný rozvoj systémů s tepelným čerpadlem ve světě

Rozvoj systémů s TČ jak v Evropě, tak i v zámoří závisí na mnoha faktorech zejména na:

- klimatické situaci;
- výstavbě obytných domů a předpisů na tepelnou izolaci;
- otopném systému.

Až do olejové krize 1973/74 bylo nasazení TČ omezené. V osmdesátých letech byl pozitivně zhodnocen ekologický přínos k redukci skleníkových plynů a TČ byla zařazena do programu úspor.

SRN

Současný rozvoj TČ se opírá o podporu státu, spolkových zemí a energetických společností na základě zákona o podpoře obnovitelných zdrojů. Stát podporuje instalaci TČ ve výši 300 DEM/kW až do výkonu 15 kW a 100 DEM při výkonu přes 100 kW.

V zařízení však nesmí být jako pracovní prostředek či chladivo použitý H-FCKW (fluorchlorovodíkové směsi). Je nutno výpočtem doložit u TČ vzduch/voda pracovní číslo větší než 3,3 a u ostatních TČ větší než 3,8. Další podporu obdrží investoři od energetické společnosti ve výši 500 až 4 000 DEM podle velikosti TČ.

Pokud jde o TČ poháněné spalovacím motorem (tj. termicky), musí investor prokázat roční topný faktor větší než 1,3. Doposud činila podpora 3,4 milionů DEM pro investice TČ ve výši 18 milionů DEM, tj. průměrná výše podpory činila 19 %. Zvláštní podpora existuje při výstavbě rodinných domů. Půjčky investorům jsou splatné během 25 let, přičemž prvních 5 let je osvobozeno od placení úroků. Rovněž spolkové země přispívají na instalaci TČ.

Švýcarsko

Instalaci TČ podporuje stát a jednotlivé kantony. 75 % se instaluje v novostavbách, z toho je 85 % monovalentních a 15 % bivalentních.

Francie

V současné době je ze 26 milionů bytů 1,2 % vybaveno klimatizací (na bázi TČ). V roce 1995 bylo instalováno cca 140 000 klimatizačních zařízení pro jednotlivé místnosti.

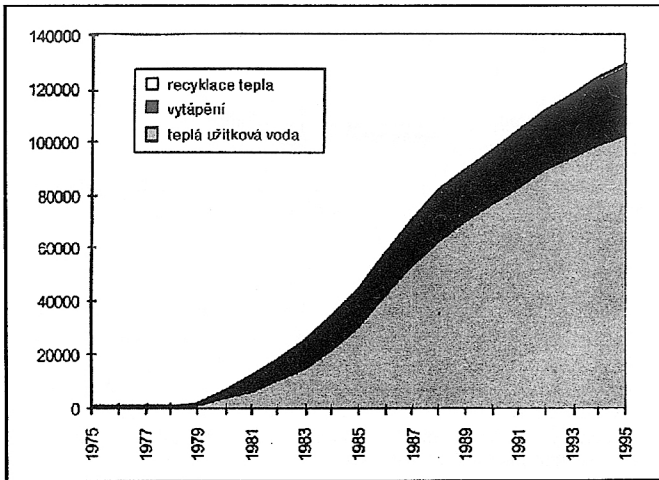
Rakousko

V Rakousku se TČ používá převážně pro ohřev teplé vody (TUV).

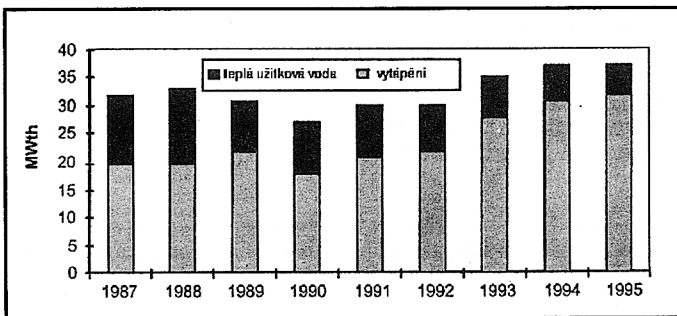
Skandinávie

Pro Skandinávii jsou charakteristické dva faktory:

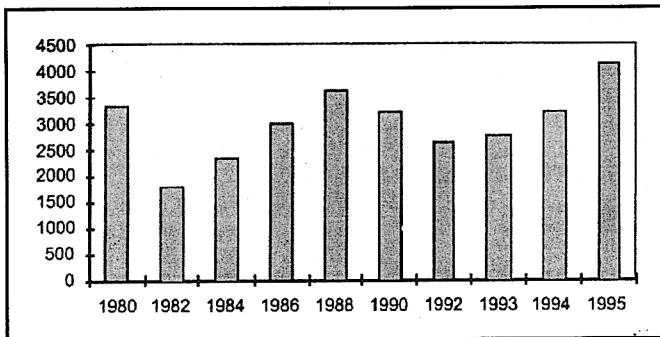
- Ve Švédsku se po olejové krizi instalovaly velká TČ (technický výkon jednotky až 35 MW). Jako zdroj tepla se využila voda z jezer a moře, rovněž odpadní voda z biologických čistíček.
- V důsledku tradičně vysokého podílu přímotopů bylo nutné provádět rekonstrukci. V současné době je ve Švédsku v provozu 250 000 TČ, přičemž se počítá se zdvojnásobením. V Norsku se ročně instaluje cca 2 000 TČ.



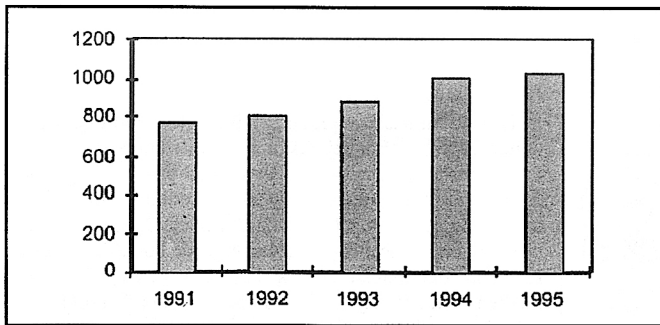
Obr. 22: Instalované zařízení s TČ (kumulované) v Rakousku



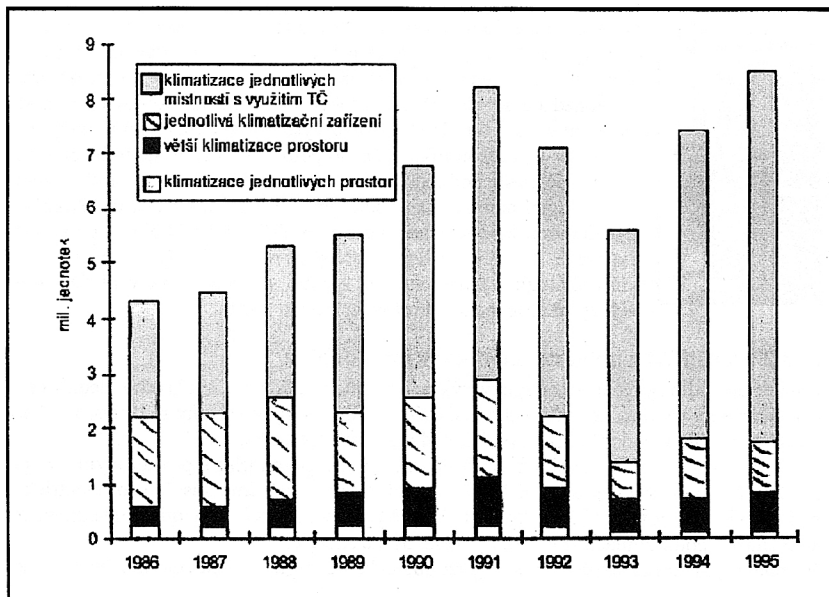
Obr. 23: Ročně instalovaný topný výkon (MW_{th}) s TČ v Rakousku



Obr. 24: Počet TČ prodaných ve Švýcarsku



Obr. 25: Tepelná čerpadla vzduch/vzduch, dodané jednotlivě v USA (mimo klimatizace)



Obr. 26: Tuzemský prodej klimatizačních zařízení – tepelných čerpadel v Japonsku

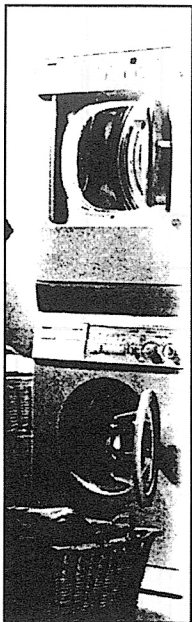
Japonsko

Zatímco v Evropě se TČ využívají téměř výhradně pro vytápění, v Japonsku pak pro klimatizaci s eventuálním přídavným zařízením na vytápění. V roce 1995 bylo v Japonsku instalováno 6,8 miliónu klimatizačních jednotek (obr. 26). Podíl zařízení pro účely chlazení činí cca 15 %. Velkému rozšíření TČ a klimatizaci přispívá mírná zima (vysoké pracovní číslo TČ).

USA

Situace v USA obdobná jako v Japonsku, tj. převládají klimatizační jednotky.

12.3.1 Nové použití tepelných čerpadel



Sušička prádla byla poprvé představena v roce 1997 v SRN firmou Oko-Lavaterm WP.

Dosavadní sušičky prádla, ať již s otevřeným odvodem páry, nebo kondenzační, patří k největším spotřebitelům energie v domácnostech. Pro jeden cyklus trvajících 60 až 90 minut při 3 až 4 kg prádla spotřebují 2,6 až 3,5 kWh, protože horký vzduch proháněný ventilátorem několika proudy bubnem, jehož otáčením se prádlo přehazuje, odvádí teplo bez užítu do okolí. Vývojářům AEG se podařilo miniaturizovat a do krajnosti zjednodušit tepelné čerpadlo s elektrickým teplosměnným médiem tak, aby nejméně 50 % dosud unikajícího tepla se vracelo do sušicího okruhu. Ventilátoru, který udržuje oběh horkého vzduchu, je místo odporových těles předřazen lamelový kondenzátor, jehož trubkami protéká médium stlačené kompresorem, ohřáté na 60 °C. Ochladené médium po průchodu expanzním ventilem v podobně řešeném výparníku odebírá teplo proudy vzduchu na výstupu z bubnu. Vlhkost odčerpáná z prádla se přitom sráží ve vodním kondenzátoru a shromažďuje se ve sběrné nádobce napojené na domovní instalaci. Nákupní cena 2 600 DEM je sice vysoká, avšak úsporami energie se zaplatí už v průběhu roku běžného používání, neboť spotřeba elektrické energie klesla pod jednu polovinu. Ventilátor, buben a mikroprocesorová řídicí automatika vystačí jen s 1,4 kWh na cyklus. Průměrná západoevropská domácnost pere a v sušičkách suší kolem 500 kg prádla ročně. Razantní snížení spotřeby přinese velké úspory energetice a tím i ekologii, výrobci sušiček s tímto systémem pak vzhledem k jejich výrazně levnějšímu provozu mohou počítat.

12.3.2 Použití TČ z pohledu energetických podniků

Tepelné čerpadlo „vyrobí“ ekologický výkon, je neúčinnější a z nákladového hlediska nejvýhodnější řešení vedoucí ke zmírnění emisí oxidu uhličitého a vytváří tím možnost pro dosažení vytčeného cíle v podobě snížení emisí oxidu uhličitého o 25 %.

Tepelné čerpadlo nabízí šanci k prodeji elektrické energie na trhu s prostorovým vytápěním, a to téměř výlučně v pásnu nízkého zatížení. Díky výlučnému zásobování elektrickou energií, obzvláště v novostavbách s co možná malou potřebou tepelné energie, bude držen dosavadní značný podíl domácností na odbytu elektrické energie.

Pro podniky, které se nepřímo podílejí na obchodu s energií, se objevuje možnost nabízet na trhu alternativní topné systémy, které by v příslušné oblasti zásobování mohly pro dodavatele představovat hospodárné optimum. Zákazníkovi může být nabídnuta nákladově výhodná jednoduchá topná technika, která má své přednosti v ochraně životního prostředí a která vytváří image dodavateli elektrické energie.

Další racionální využití elektrické energie, z části rovněž u tepelných čerpadel, ale i u jiných aplikací, umožní otevření trhu s elektrickou energií.

Technika vytápění pomocí tepelných čerpadel je hotova a je připravena k využití. Musí se však „jen“ razantnějším způsobem a ve stále větší míře protlačovat na trh. Tuto šanci by měly využít především energetické podniky a pomocí dobře prováděného marketingu nabídnout zákazníkovi pro něj velice zajímavé řešení.