



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

SOLÁRNÍ CHLAZENÍ SOLAR COOLING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVOL SMOKOŇ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ HEJČÍK, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pavol Smokoň

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Solární chlazení

v anglickém jazyce:

Solar cooling

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Solární chladicí zařízení jsou taková, která využívají k výrobě chladu solárního záření a to buď přímo, nebo zprostředkovaně. Výhodou těchto zařízení je, že jejich výkon roste s rostoucí intenzitou solárního záření a tedy i s rostoucím požadavkem na chlazení.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je za pomoci dostupných zdrojů informací zpracovat přehled konstrukcí a technologií, využívaných v solárních chladicích zařízeních.

Seznam odborné literatury:

www.tzb-info.cz

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012. V Brně, dne 4.11.2011

L.S

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá současnými možnostmi využití sluneční energie pro pohon chladících zařízení. První část je věnována různým technologiím v oblasti elektricky poháněných a teplem poháněných chladících zařízení. Druhá část se zaměřuje na způsoby získávání solární energie pro jejich pohon. V poslední části jsou uvedené příklady některých instalovaných solárních chladících systémů.

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with current possibilities of using solar energy to power cooling devices. First part is dedicated to various techniques used in the field of electrically driven and thermally driven coolers. Second part focuses on ways of getting solar energy to power them. Last part enlists examples of some installed solar cooling systems.

KLÍČOVÁ SLOVA

Solární chlazení, fototermické kolektory, fotovoltaické panely, absorpční chlazení, adsorpční chlazení, desikační chlazení, vzduchové kolektory, ploché kolektory, koncentrující kolektory, kolektory s vakuovými trubicemi

KEY WORDS

Solar cooling, photothermic collectors, photovoltaic panels, absorption cooling, adsorption cooling, desiccant cooling, air collectors, flat plate collectors, concentrating collectors, evacuated tube collectors

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SMOKOŇ, P. *Solární chlazení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 37 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne pod vedením Ing. Jiřího Hejčíka, Ph.D. s využitím vlastných znalostí a literatúry uvedenej v zozname použitých zdrojov.

V Brne dňa 25. Mája 2012

.....

Pavol Smokoň

POĎAKOVANIE

Na tomto mieste by som rád poďakoval Ing. Jiřímu Hejčíkovi, Ph.D. za odborné vedenie a cenné rady, ktorými prispel k vypracovaniu tejto bakalárskej práce.

OBSAH

Úvod	11
1 Rozdelenie solárnych chladiacích zariadení	12
2 Elektricky poháňané solárne chladiace zariadenia	13
2.1 Kompresorové chladenie	13
2.2 Chladenie termoelektrickými článkami.....	14
2.3 Odparovacie chladenie	15
3 Teplom poháňané solárne chladiace zariadenia	16
3.1 Zariadenia s termomechanickou premenou	16
3.1.1 Rankinov cyklus	16
3.1.2 Stirlingov cyklus.....	17
3.2 Zariadenia s premenou tepla	18
3.2.1 Otvorený cyklus s tuhým sorbentom	18
3.2.2 Otvorený cyklus s kvapalným sorbentom.....	19
3.2.3 Uzavretý cyklus s kvapalným sorbentom	19
3.2.4 Uzavretý cyklus s tuhým sorbentom	21
4 Získavanie energie pre pohon solárnych chladiacích zariadení.....	23
4.1 Fotovoltické panely	23
4.2 Fototermické kolektory	24
4.2.1 Vzduchové kolektory.....	24
4.2.2 Ploché kvapalinové kolektory	26
4.2.3 Kolektory s vákuovými trubicami	27
4.2.4 Koncentrujúce kolektory.....	29
5 Realizované systémy solárneho chladenia	31
5.1 Klimatizácia nemocnice	31
5.2 Klimatizácia výrobnnej haly	31
5.3 Chladenie vínného skladu.....	32
5.4 Klimatizácia zasadacej miestnosti a jedálne	32
5.3 Klimatizácia hotela.....	33
5.4 Klimatizácia rodinného domu	33
Záver	34
Použité zdroje	35

ÚVOD

Množstvo energie spotrebovanej v komerčných ako aj obytných budovách rastie spolu so zvyšujúcimi sa požiadavkami na komfort v nich. V súčasnosti spotreba v tomto sektore predstavuje približne 30 % z celkovej spotreby energie vo svete.

Idea energetickej nezávislosti a rastúce ceny energií posilňujú rôzne snahy na znižovanie energetickej náročnosti budov a stavba tzv. nízkoenergetických a pasívnych domov sa stáva trendom. Jeden zo spôsobov ako znížiť náklady na prevádzku budov je výroba vlastnej energie. Pre tento účel sa osvedčili solárne kolektory, ktoré sú bežne používané pre ohrev vody. Zvyšujúci sa dopyt po solárnych kolektoroch a vznik nových technológií v tejto oblasti vedie k znižovaniu cien, vďaka čomu sa stávajú vhodnejšie pre ďalšie aplikácie ako je napríklad pohon chladiacich zariadení.

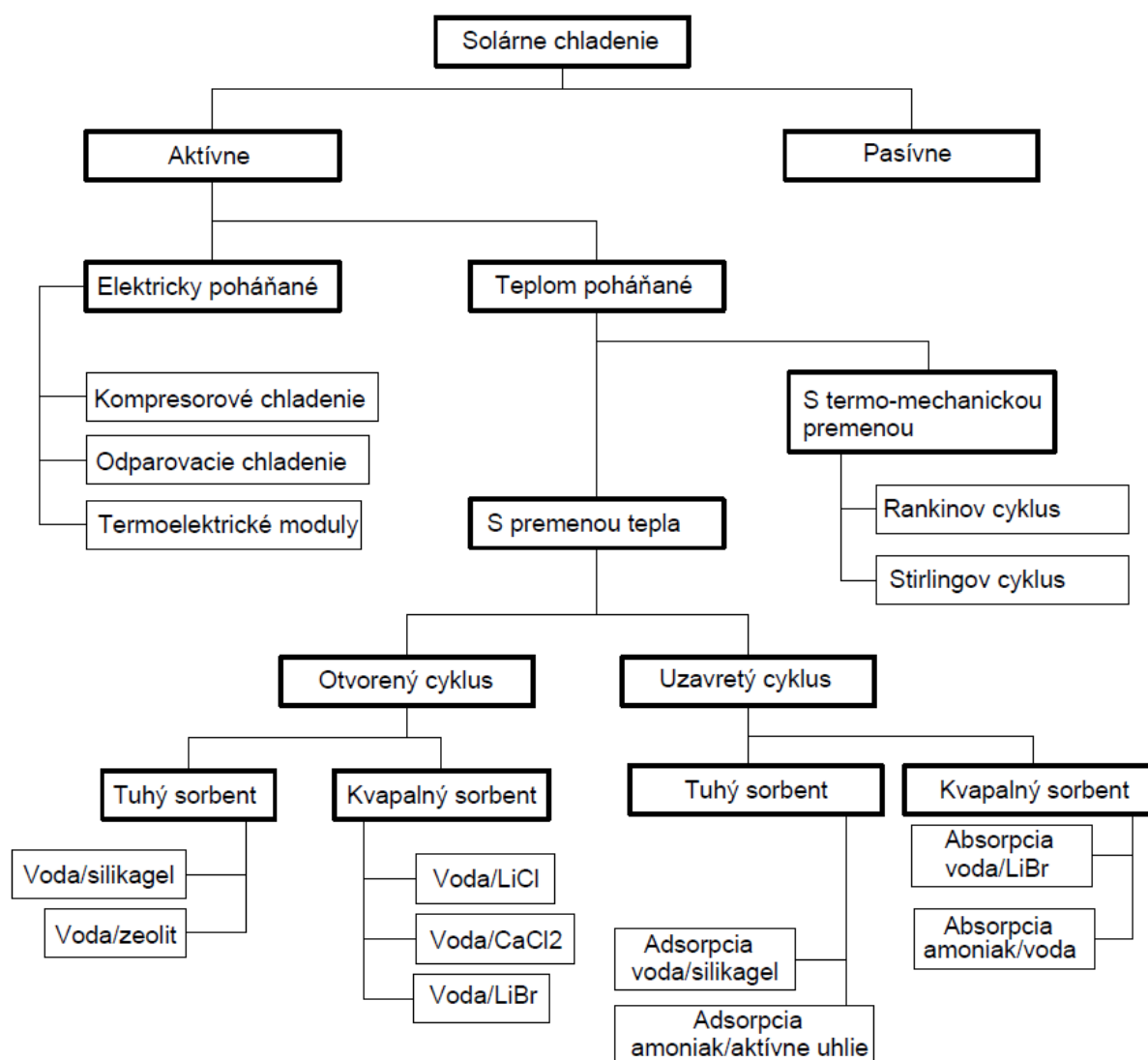
Klimatizovanie priestorov sa stáva bežným aj v oblastiach s miernym pásomom. Práve využitie solárnych kolektorov alebo fotovoltických článkov má pre pohon chladiacich systémov dobré opodstatnenie, keďže nároky na chladenie sú najvyššie vtedy, keď je k dispozícii najviac slnečnej energie.

„V oblasti solárnych chladiacich zariadení bolo preskúmaných mnoho technológií niektoré boli demonštrované, len málo ich však bolo inštalovaných pre iné než výskumné účely.“ [1] Doteraz boli realizované najmä systavy s veľkými chladiacimi výkonmi určené pre klimatizovanie administratívnych priestorov, hotelov a iné veľké aplikácie. Na trhu sa však objavujú už aj výrobcovia poskytujúci solárnym teplom poháňané chladiace jednotky s menšími výkonmi.

1 ROZDELENIE SOLÁRNYCH CHLADIACICH ZARIADENÍ

Solárne chladiace zariadenia môžeme podľa potreby energie rozdeliť na pasívne a aktívne. Pasívne zariadenia nevyužívajú solárnu energiu pre pohon chladiacich procesov, len zabráňujú jej prenikaniu do chladených priestorov (Např. tienidlá, odrazivé plochy, atď.), prípadne ju používajú na urýchlenie výmeny vzduchu zosilnením prirodzenej konvekcie (Solárny komín).

V aktívnych systémoch je slnečná energia priamo alebo sprostredkovanou využívaná pre pohon chladiacich zariadení, ktoré odoberajú teplo z chladeného prostredia. Tieto zariadenia môžeme ďalej rozdeliť podľa formy energie, ktorú spotrebúvajú na elektricky poháňané a teplom poháňané. Na Obr. 1 je zobrazené rozdelenie najčastejšie používaných technológií v aplikáciách solárneho chladenia.



Obr. 1 Technológie najčastejšie používané v aplikáciách solárneho chladenia.

2 ELEKTRICKY POHÁŇANÉ SOLÁRNE CHLADIACE ZARIADENIA

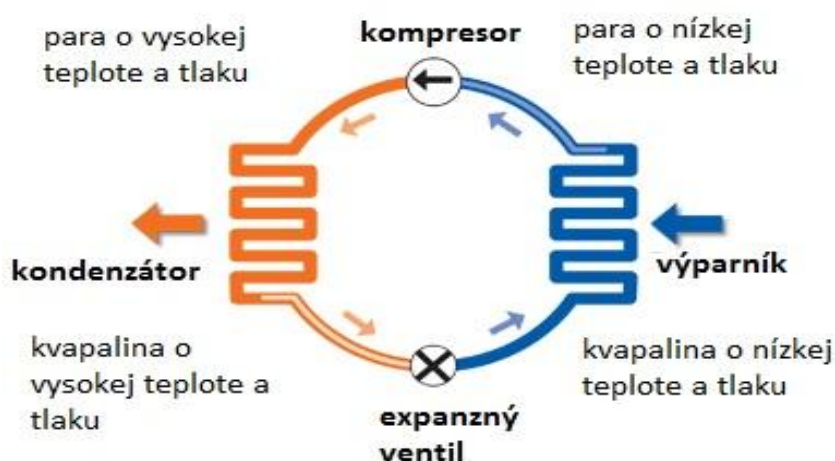
Využívajú pre pohon elektrickú energiu získanú z fotovoltických panelov. Jedná sa najmä o kompresorové klimatizačné jednotky. Tie sú však väčšinou určené pre napájanie striedavým prúdom, preto musia v týchto systémoch byť meniče prúdu, ktoré transformujú jednosmerný prúd z fotovoltických panelov. Existujú aj klimatizačné jednotky, ktoré sú napojené priamo na jednosmerný prúd, takisto termoelektrické články sú poháňané jednosmerným prúdom. Tieto zariadenia nepotrebujú meniče a môžu byť napojené priamo na fotovoltický panel, prípadne akumulátor.

Elektricky poháňané solárne chladiace zariadenia sa však pre nízku účinnosť fotovoltických panelov a dostupnosť výhodnejších technológií pre pohon solárnou energiou používajú len zriedka.

2.1 Kompresorové chladenie

Veľká väčšina chladiacich zariadení v súčasnosti pracuje na princípe kompresorového chladenia. Využíva sa vo väčšine klimatizačných jednotiek ako aj domácich chladničkách či mrazničkách. Základné časti kompresorového chladiaceho systému (Obr. 2) sú výparník, kondenzátor, kompresor, ktorý zabezpečuje obeh chladiaceho média a expanzný ventil, ktorý oddeľuje stranu s vyšším tlakom od strany s tlakom nižším.

K vzniku chladiaceho účinku dochádza vo výparníku. Výparník je výmenník tepla, ktorý prijíma teplo z prostredia na skupenskú premenu chladiaceho média, ktoré doň vstupuje v kvapalnom skupenstve pod nízkym tlakom a s nízkou teplotou. Výmenou tepla vo výparníku dochádza k premene kvapalného média na plynné a k ochladeniu okolia. Konštrukcia výparníku závisí od konkrétnej aplikácie chladiaceho zariadenia. Pre chladenie vzduchu napríklad v klimatizačných jednotkách sa spravidla používa výmenník vo forme cievky vinutej z medenej trubky s hliníkovými rebrami. Pre ochladzovanie vody sa najčastejšie používa rúrkový výmenník.



Obr. 2 Schéma kompresorového chladenia. [2]

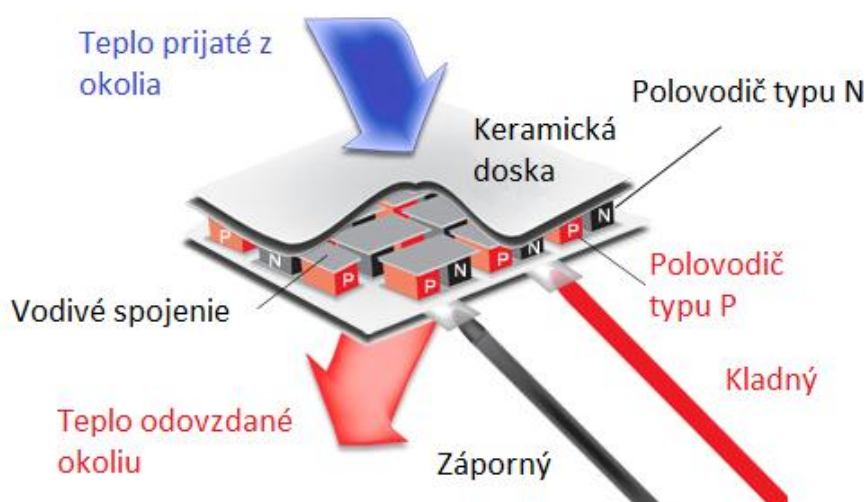
Na výstupe z výparníku je médium v plynnom skupenstve o nízkej teplote pod nízkym tlakom, aby bolo možné ho opäť použiť a zabezpečiť tak plynulý chod je potrebné dostať ho do stavu v akom vstupovalo do výparníku, teda do stavu kvapaliny o nízkej teplote a tlaku. K tejto premene dochádza v troch krokoch. Najskôr sa zvyšuje tlak pomocou kompresora, ktorý nasáva médium z výparníku a stláča ho na kondenzačný tlak, pri tomto stláčaní dochádza tiež k zvýšeniu teploty chladiva. Od kompresora prúdi médium ešte v plynnom skupenstve do kondenzátora. Kondenzátor je druhý výmenník tepla, v ktorom dochádza k skvapalneniu média pričom je do okolia odvádzané teplo. Na výstupe z kondenzátoru je médium vo forme kvapaliny o vysokej teplote a tlaku. Po prechode expanzným ventilom dôjde ku zníženiu tlaku a teploty a celý cyklus sa môže opakovať.

Výhodou kompresorových chladiacich zariadení je ich vysoký chladiaci faktor, na druhej strane však spotrebúvajú veľa energie a obsahujú pohyblivé časti, ktoré spôsobujú hluk a vibrácie.

2.2 Chladenie termoelektrickými článkami

Termoelektrické články, nazývané tiež Peltierove články, sú malé zariadenia využívajúce Peltierov jav. „*Peltierov jav je fyzikálny jav, kedy sa miesto styku dvoch kovov alebo polovodičov pri prechode elektrického prúdu zahrieva alebo ochladzuje v závislosti na smere prechádzajúceho prúdu.*“ [3]

Aj keď termoelektrický jav je možné pozorovať u mnohých materiálov na výrobu Peltierových článkov sa využívajú len tzv. termoelektrické materiály. Sú to materiály, u ktorých je tento jav dostatočne silný. V praxi sa osvedčili hlavne polovodiče napríklad Bi_2Te_3 . Materiál s dobrými termoelektrickými vlastnosťami má silnú elektrickú vodivosť a čo najslabšiu tepelnú vodivosť aby sa vzniknutý teplotný rozdiel vyrovnával čo najpomalšie. Väčšina materiálov s dobrou elektrickou vodivosťou sú však zároveň dobrými vodičmi tepla, preto majú Peltierove články nízku účinnosť. [4,5]

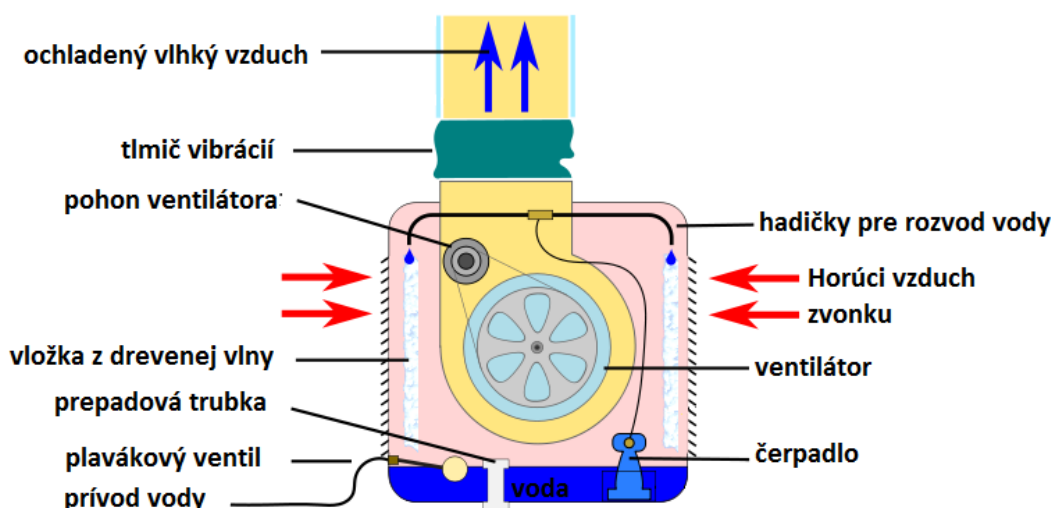


Obr. 3 Termoelektrický chladiaci modul. [6]

Peltierove články sa kôli ich nízkej účinnosti pre chladenie využívajú omnoho zriedkavejšie ako kompresorové chladiace zariadenia. Ich najväčšími výhodami sú ich kompaktná veľkosť a absencia pohybujúcich sa častí alebo chladiaceho média. Najčastejšie sa využívajú v prenosných chladničkách alebo na chladenie elektronických komponentov a iné aplikácie vyžadujúce malé chladiace výkony. Pre jednoduchú reguláciu a rýchlu odozvu sa používajú v aplikáciách, kde je potrebné dosahovať a udržiavať presné teploty. [7]

2.3 Odparovacie chladenie

Odparovacie alebo adiabatické chladenie využíva zmeny citeľného tepla na teplo skupenské pri vyparovaní vody, čím sa zníži teplota a zvýši vlhkosť spracovávaného vzduchu. Preto je tento spôsob chladenia vhodný pre oblasti so suchou horúcou klímou. Prúdenie vzduchu u adiabatických chladiacich zariadení (Obr. 4) zabezpečuje ventilátor, ktorý vťahuje teplý suchý vzduch zvonku cez namáčané vložky, vyrobené väčšinou z drevitej vlny. Neodparená voda steká na dno zariadenia odkiaľ je malým čerpadlom vytlačená späť na vložky. Reguláciu prívodu novej vody zabezpečuje plavákový ventil. Použitá voda musí byť demineralizovaná aby sa zabránilo zanášaniu systému. [8]



Obr. 4 Adiabatické chladiace zariadenie. [9]

3 TEPLOM POHÁŇANÉ SOLÁRNE CHLADIACE ZARIADENIA

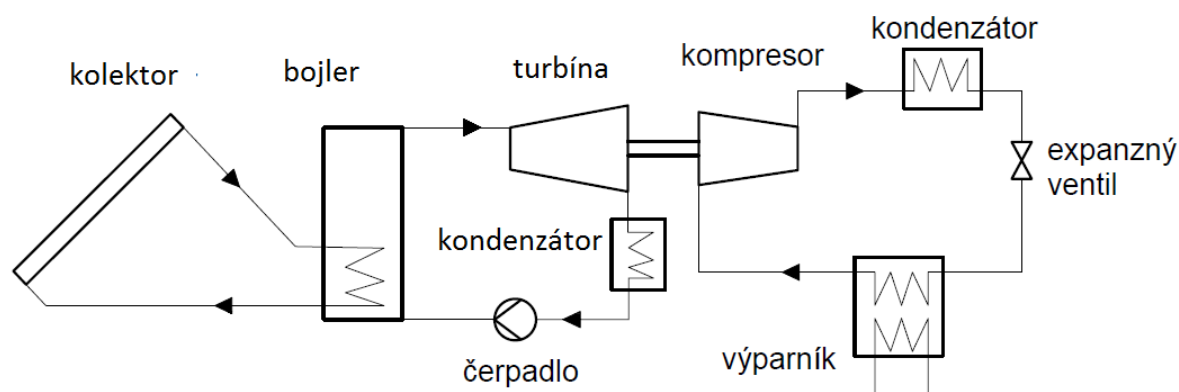
Vo väčšej miere ako elektricky poháňané systémy sa v solárnej chladiacej technike využívajú systémy poháňané teplom zo solárnych kolektorov. Väčšina teplom poháňaných chladiacich systémov využíva tiež elektrickú energiu pre pohon čerpadiel, ventilátorov, reguláciu a iné účely. Množstvo spotrebovanej elektrickej energie je však podstatne nižšie ako u elektricky poháňaných systémov.

3.1 Zariadenia s termomechanickou premenou

V zariadeniach s termomechanickou premenou je teplo zo solárneho zdroja premieňané na mechanickú prácu v podobe otáčok na výstupnom hriadeli tepelného motora, ktorou je poháňaný kompresor bežného kompresorového chladiaceho zariadenia. [10]

3.1.1 Rankinov cyklus

Rankinov cyklus môžeme rozdeliť na štyri procesy. Najskôr je nasýtená pracovná kvapalina pomocou čerpadla izoentropicky prepravovaná z kondenzátora do bojleru, kde za konštantnej teploty prijíma teplo až kým sa nepremení na nasýtenú paru. Tá potom izoentropicky expanduje cez turbínu pričom koná prácu. Para opúšťajúca turbínu kondenzuje pri stálom tlaku, až kým sa nevráti opäť do stavu nasýtenej kvapaliny. U menších systémov sa namiesto turbíny môže použiť piestový parný stroj. Veľká väčšina Rankinových tepelných motorov používa ako pracovnú kvapalinu vodu. Nevýhodou použitia vody je to, že pred vstupom do turbíny musí byť prehriatá, bez prehrievania by bola vlhkosť pary po expanzii príliš veľká, čo by spôsobilo koróziu lopatiek turbíny. [7]



Obr. 5 Schéma kompresorového chladienia s Rankinovým tepelným motorom.

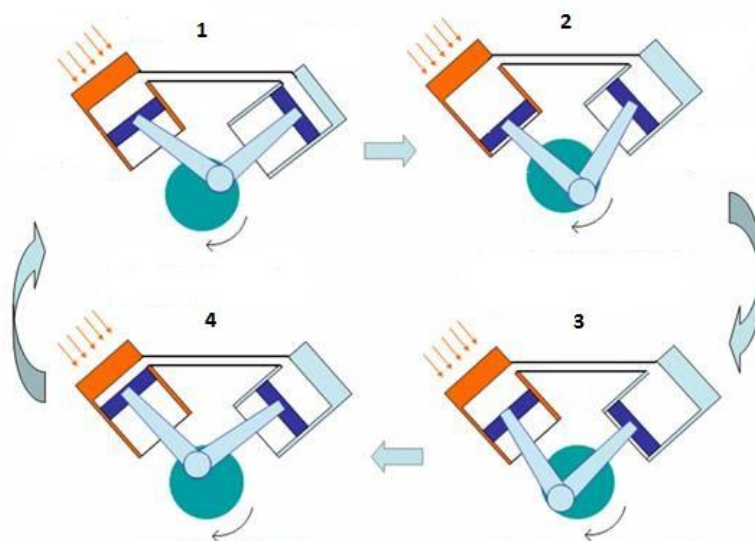
Preto môžu byť pre cykly operujúce pri nižších teplotách lepšou voľbou organické látky, ktoré nepotrebujú byť prehriate pred vstupom do turbíny. Naopak sami sa prehrejú a stanú suchšími po expanzii turbínou. Ďalšou výhodou použitia organických kvapalín je ich vyššia hustota vďaka čomu môžu byť použité užšie trubky a tiež menšia turbína. Na druhú stranu plocha kondenzátora pre výmenu tepla musí byť väčšia ako v systéme pracujúcom s vodou. V niektorých vyvíjaných systémoch je použitá rovnaká pracovná kvapalina pre Rankinov motor a obeh kompresorové chladienia. To umožňuje použiť spoločný kondenzátor pre oba obeh a tiež eliminuje nutnosť použitia špeciálnych tesnení medzi turbínou a kompresorom. [4, 7]

Účinnosť Rankinovho motora rastie so stúpajúcou teplotou zdroja. Naopak účinnosť solárnych kolektorov s rastúcou teplotou ohrevu klesá. To negatívne ovplyvňuje koeficient výkonnosti celého systému ako aj fakt, že väčšina kompresorov má najvyšší výkon pri určitých otáčkach, kým solárnym teplom poháňaný Rankinov motor do systému dodáva meniaci sa príkon. [1]

Solárne chladiace zariadenia využívajúce Rankinov motor sú stále vo fáze vývoja pričom len málo ich bolo nainštalovaných. Tieto systémy sú navrhnuté pre veľké aplikácie. Kvôli množstvu pohybujúcich sa častí a zložitej konštrukcii sú náročnejšie na údržbu a tiež drahšie ako systémy využívajúce tepelné čerpadlo. [4]

3.1.2 Stirlingov cyklus

Stirlingov cyklus sa v chladiacich aplikáciách vyskytuje väčšinou v jeho obrátenej forme u tepelných čerpadiel, využitie Stirlingovho tepelného motora priamo pre pohon chladiacich zariadení je skôr ojedinelé. Častejšie je jeho využitie pre generáciu elektrickej energie s využitím tepla zo solárneho koncentrujúceho kolektora. Tá môže byť potom použitá pre pohon bežných klimatizačných jednotiek.



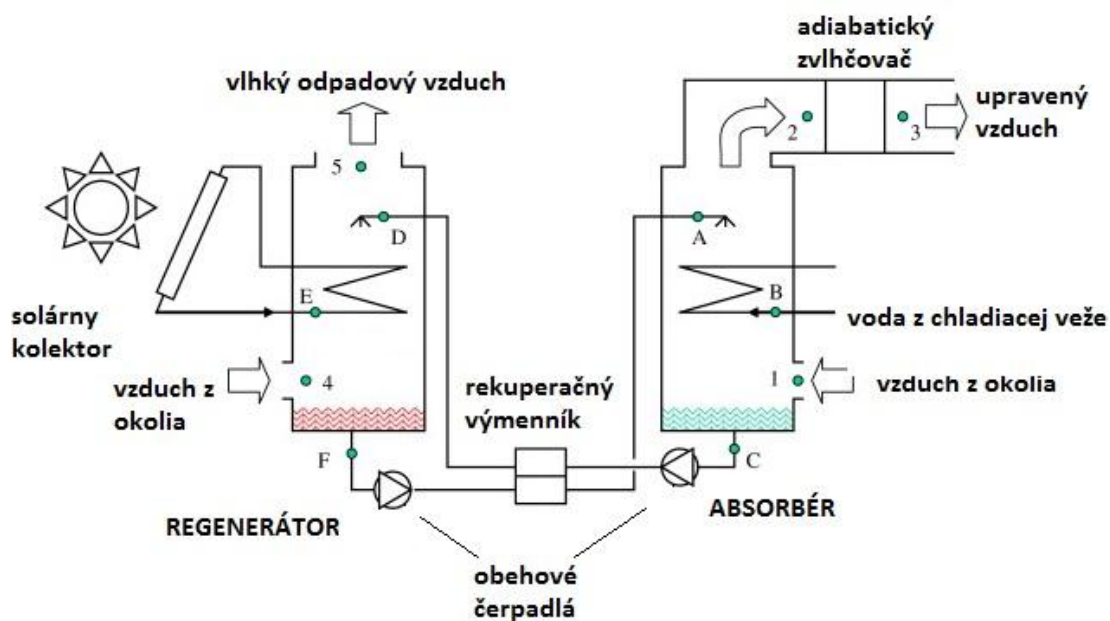
Obr. 6 Schéma stirlingovho cyklu v stirlingovom motore konfigurácie alfa. [11]

Pracovná látka v Stirlingovom tepelnom motore sa na rozdiel od tej v Rankinovom motore nachádza počas celého cyklu v plynnom skupenstve. Stirlingov cyklus je možné popísať v štyroch krokoch: V prvom kroku je väčšina plynu v ohrievanom valci, v ktorom prijíma teplo, čo spôsobí jeho expanziu. Rozpínajúci sa plyn tlačí na piest a ten koná prácu, plyn tiež prechádza do druhého chladeného valca a piest v ňom tlačí tiež dole. V druhej fáze je väčšina plynu ešte stále v ohrievanom valci, ale rotácia kľukovej hriadele posúva piest v ňom do hornej úvrate, čo spôsobí presun plynu cez regenerátor do chladeného valca. V tretej fáze plyn v chladenej časti odovzdáva teplo okoliu, zmršťuje sa a „ťahá“ oba valce hore. V poslednom kroku sa piest v ohrievanej časti vracia z hornej úvrate, zatiaľ čo piest chladeného valca ide stále hore, plyn sa presúva do ohrievaného piestu a cyklus sa uzatvára. Vhodné pracovné plyny sú hélium alebo vodík pre ich dobrú tepelnú vodivosť. [4]

3.2.2 Otvorený cyklus s kvapalným sorbentom

Nové na trhu sú klimatizačné jednotky využívajúce kvapalný desikant. Ich hlavnou výhodou oproti zariadeniam s tuhým desikantom je možnosť akumulácie energie v podobe koncentrovaného roztoku, ktorý môže byť použitý pre chladenie v dobe, keď solárna energia nie je dostupná. Kvapalné desikanty tiež dokážu absorbovať viac vlhkosti zo vzduchu pri rovnakých regeneračných teplotách a majú bakteriostatické vlastnosti.

Tieto systémy operujú na podobnom princípe ako desikačné zariadenia s tuhým sorbentom. Spracovávaný vzduch je najskôr v absorbéri vysušený absorpciou vody na desikant (1-2) a potom adiabaticky ochladený (2-3). Použitý desikant je obehovým čerpadlom prepravovaný do regenerátora (C-D), v ktorom prechádzajúci vzduch absorbuje z neho vodu (4-5). Koncentrovaný desikant steká na dno regenerátora odkiaľ je prečerpávaný do absorbéra (F-A). Desorpcia vody z desikantu je endotermický proces, preto aby prebehol musí byť do regenerátora privedené teplo. Teplota solárneho média potrebná na regeneráciu sa pohybuje od 45 do 70 °C. Absorpcia vody desikantom je na druhú stranu proces exotermický a teplo pri nej vzniknuté je potrebné odvádzať, keďže so stúpajúcou teplotou desikantu stúpa aj tlak nasýtených pár v ňom čím sa zhoršuje jeho schopnosť absorbovať paru zo spracovávaného vzduchu. [10, 12]

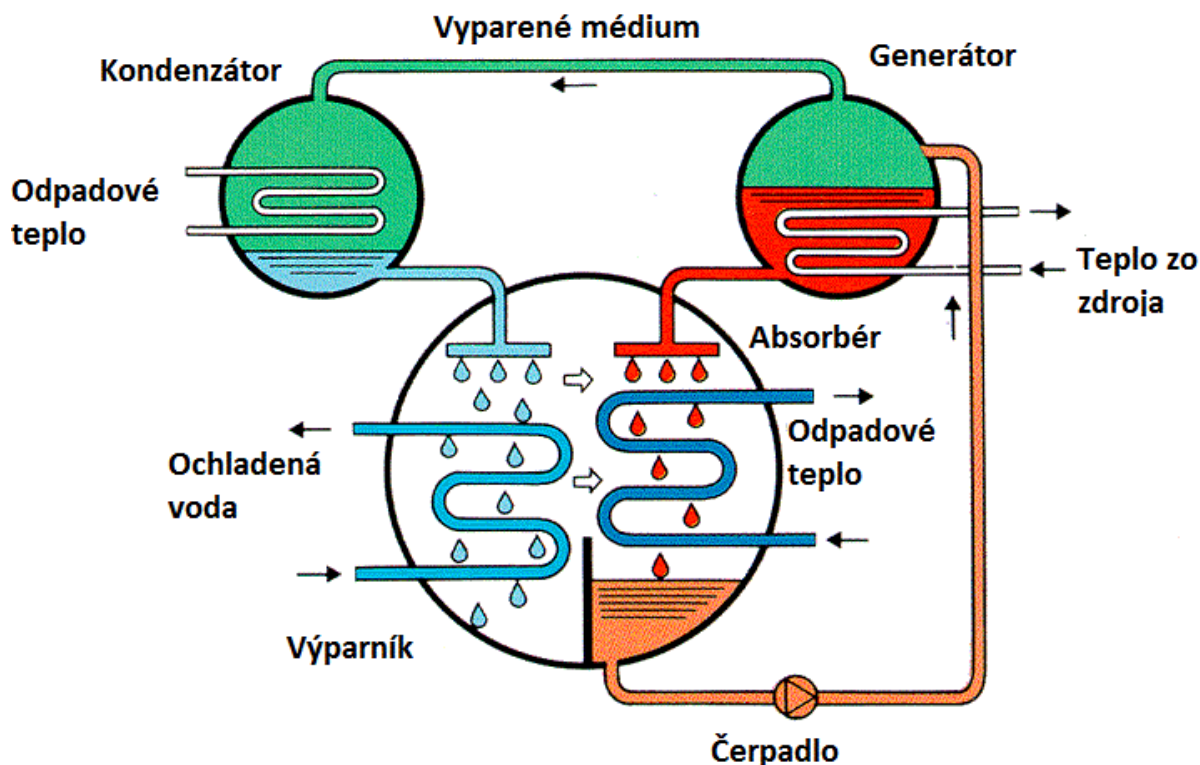


Obr. 8 Schéma chladienia v otvorenom cykle s kvapalným desikantom. [10]

3.2.3 Uzavretý cyklus s kvapalným sorbentom

U Chladiacich zariadení s uzavretým cyklom médium neprichádza do kontaktu s prostredím priamo, ale obieha v utesnenom priestore a po poskytnutí chladiaceho účinku sa vracia na začiatok cyklu a je opäť použité. Väčšina solárnych chladiacich zariadení dnes pracuje s týmto cyklom a kvapalným sorbentom (absorbentom). Keďže medzi sorbentom a chladiacim médiom prebieha absorpcia, teda pohlcovanie molekúl plynnej fázy chladiaceho média kvapalným absorbentom, nazývame tieto zariadenia tiež absorpčné chladničky.

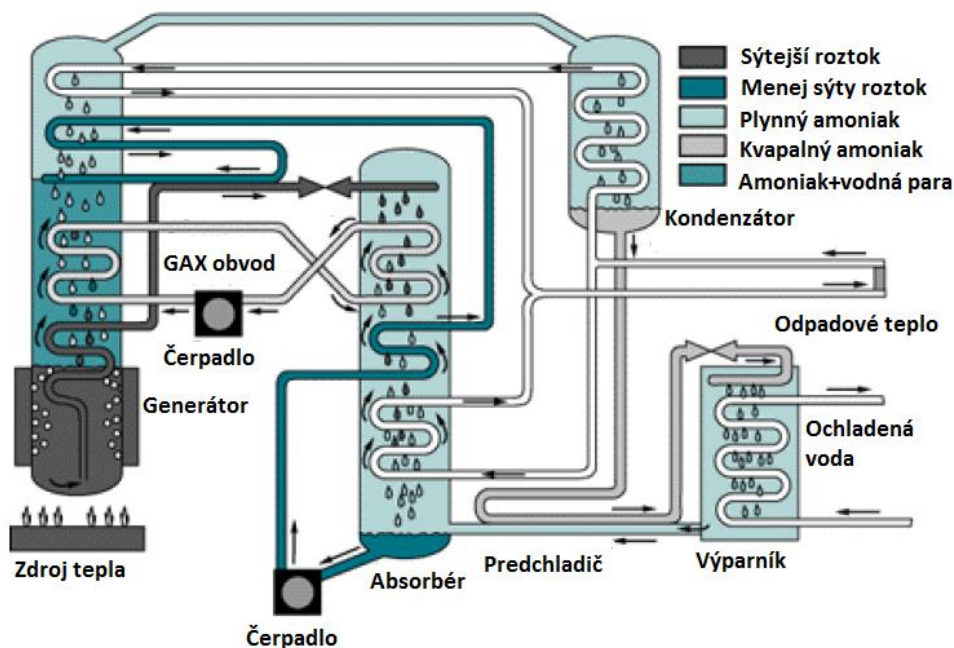
Absorpčná chladnička vo svojej najjednoduchšej forme pripomína kompresorové chladiace zariadenie, v ktorom bol kompresor nahradený dvojicou absorbér, generátor. Takýto systém pracuje na dvoch tlakových hladinách a interaguje s prostredím na troch teplotách: nízka chladiaca teplota vo výparníku, stredná teplota odpadového tepla v absorbéri a kondenzátore a vysoká teplota generátora ohrievaného teplom zo solárneho zdroja. [13]



Obr. 9 Schéma zjednodušeného absorpčného cyklu. [14]

V generátore dochádza k ohriatiu roztoku bohatého na chladiace médium, čím dochádza k vypareniu časti média a ochudobneniu roztoku. Médium vo forme pary putuje do kondenzátora, v ktorom odovzdáva teplo okoliu a skondenzuje. V kvapalnej forme prechádza expanzným ventilom na stranu s nižším tlakom do výparníka, v ktorom vplyvom nízkeho tlaku dôjde k jeho varu, pričom prijíma teplo z okolia, čím poskytuje chladiaci účinok. Vyparené médium prechádza do absorbéra, v ktorom sa nachádza ochudobnený roztok z generátora, ktorý absorbuje médium. Vzniknutý bohatší roztok, je čerpadlom prepravovaný do generátora a celý cyklus sa opakuje. [13]

Aby prebehla absorpcia média musí byť tlak nasýtených pár roztoku v absorbéri nižší ako tlak čistého média vo výparníku. Pri absorpcii vzniká teplo, preto musí byť absorbér chladený, keďže s rastúcou teplotou by narástol aj tlak nasýtených pár v roztoku, kvôli čomu by roztok absorboval menej média. Časť tohto odpadového tepla je možné využiť na ohrev roztoku v generátore zapojením ďalšieho obehu do systému, čím vznikne tzv. GAX (Generator-absorber heat exchanger) systém.



Obr. 10 Schéma GAX absorpčného (NH_3/voda) cyklu. [14]

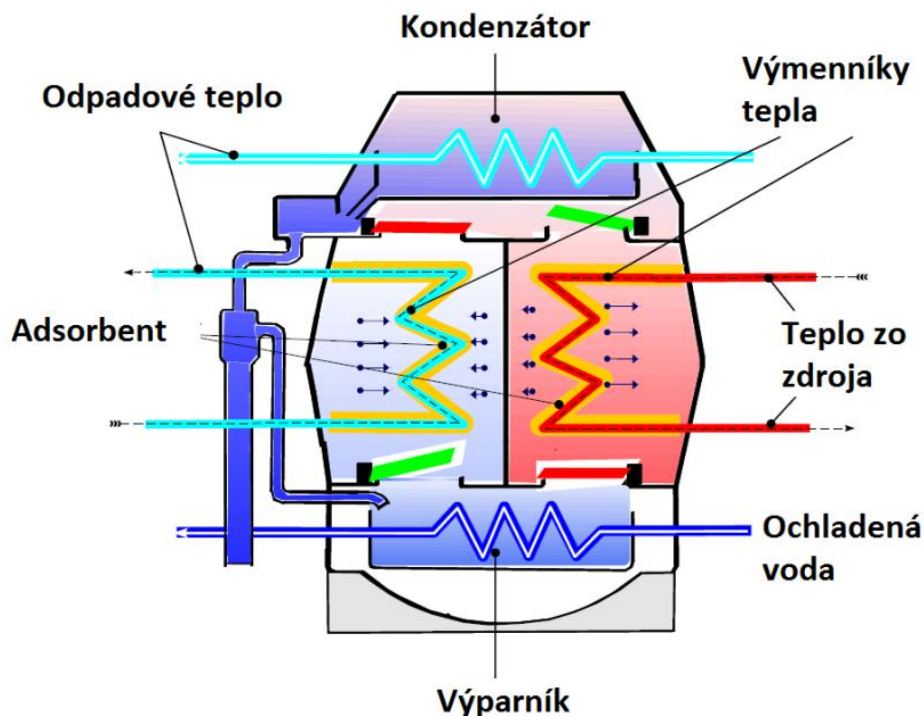
Chladený býva tiež kondenzátor, do ktorého vstupuje médium prehriate, keďže teplota na jeho vypudenie z roztoku je vyššia ako teplota varu samotného média. Jednou z možností, ako využiť toto odpadové teplo, je pridanie ďalšieho generátora, čím vznikne dvojstupňový systém s vyšším chladiacim faktorom bez nutnosti dodávať do systému viac tepla. Solárne médium musí však mať vyššiu teplotu, aby bolo vyparené chladivo opúšťajúce primárny generátor dostatočne prehriate na vyparenie chladiva v druhom generátore. Chladiaci faktor takýchto zariadení dosahuje hodnoty do 1,2 oproti 0,6 – 0,75 u jednostupňových cyklov. Zaradením tretieho generátora je možné dosiahnuť chladiaci faktor 1,7. [4, 15]

Najčastejšie používané dvojice pracovných kvapalín u absorpčných systémov sú: $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$, v tomto páre voda pracuje ako chladiace médium a LiBr ako absorbent. Alebo $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$, kde voda plní úlohu absorbenta. Ale absorpčný cyklus môže pracovať aj s inými dvojicami. Pre pohon solárnym teplom je vhodnejšia dvojica $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$, vzhľadom na nižšie potrebné teploty generátora. Vhodné teploty generátora u vodou chladených $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$ jednotiek sa pohybujú v rozmedzí 76 – 100 °C. Naproti tomu vodou chladené zariadenia pracujúce s $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ vyžadujú teploty generátora od 95 do 120 °C. [1]

3.2.4 Uzavretý cyklus s tuhým sorbentom

Zariadenia s uzavretým cyklom a tuhým sorbentom pracujú na princípe adsorpcie, preto sa nazývajú aj adsorpčné chladničky. Adsorpcia je fyzikálny proces, pri ktorom dochádza k viazaniu molekúl plynnej alebo kvapalnej látky na povrch inej tuhej látky. Tento proces je vratný lebo adsorbát je viazaný na povrch adsorbenta slabými medzimolekulárnymi silami. Opačný proces sa nazýva desorpcia.

Adsorpčná chladnička sa skladá z kondenzátora, výparníka a dvoch komôr s tuhým sorbentom, ktoré striedavo plnia funkciu adsorbéra a desorbéra. Ako chladiace médium sa v týchto systémoch najčastejšie používa voda a ako sorbent silikagél. Po poskytnutí chladiaceho účinku a vyparení vody vo výparníku je para adsorbovaná na povrch sorbentu v jednej z komôr. Sorbent je potom regenerovaný privedením tepla zo solárneho zdroja a adsorbovaná voda sa opäť vyparí a putuje do kondenzátora, odkiaľ v kvapalnom skupenstve prechádza späť do výparníka.



Obr. 11 Schéma adsorpčného chladenia v uzavretom cykle s tuhým sorbentom. [16]

Komora, ktorá adsorbuje paru býva chladená, zatiaľ čo druhá je ohrievaná, po nasýtení sorbenta v jednej komore, respektíve regenerácii sorbenta v druhej si funkcie vymenia. Tiež sa vymení okruh dodávajúci teplo z kolektora s chladiacim okruhom.

Adsorpčné chladničky dokážu pracovať pri veľkom rozmedzí teplôt. Často stačí už 60 °C teplá voda pre ich pohon, vďaka čomu sú vhodné pre solárne aplikácie. Ako zdroj tepla pre ne postačujú aj ploché kolektory. [17,18]

Adsorpčné chladničky majú jednoduchú konštrukciu, bez množstva pohybujúcich sa častí, takže fungujú bez vibrácií a hluku a ich životnosť môže dosiahnuť až 30 rokov. Použité sorbenty si udržiavajú svoju adsorbivitu počas celej životnosti. Nevýhodou týchto zariadení je ich nízky chladiaci faktor (0,3 - 0,7) ako aj veľké rozmery a hmotnosť. [17,12]

4 ZÍSKAVANIE ENERGIE PRE POHON SOLÁRNYCH CHLADIACICH ZARIADENÍ

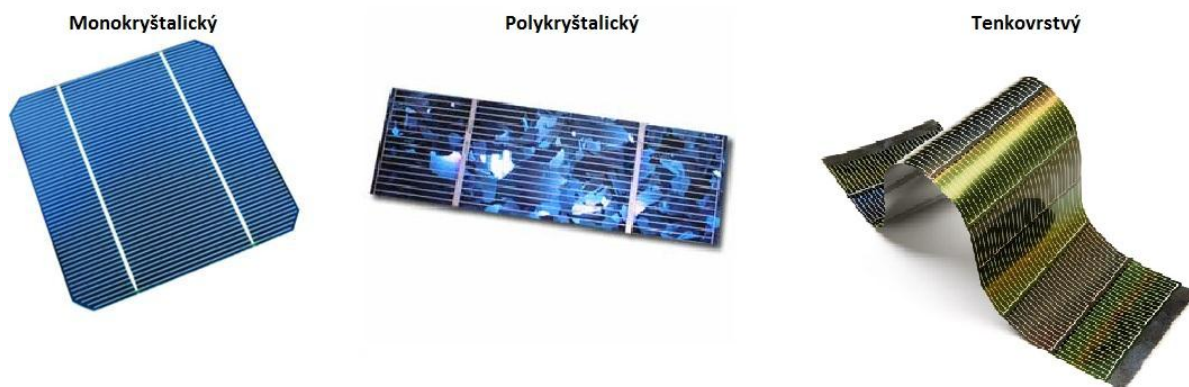
4.1 Fotovoltické panely

Fotovoltické panely vyrábajú elektrickú energiu priamo z dopadajúceho slnečného žiarenia za využitia fotovoltického efektu. Tieto panely sa skladajú z článkov s dvomi polovodičovými vrstvami. Polovodič vo vonkajšej vrstve, teda tej, na ktorú dopadá slnečné žiarenie, je polovodič typu N. To znamená, že je dotovaný prímiesami tak aby mal prebytok elektrónov. Druhá vrstva je vytvorená z polovodiča typu P, teda má nedostatok elektrónov. Pri dopade žiarenia o určitej vlnovej dĺžke a dostatočnej intenzite dôjde k uvoľneniu elektrónov z atómov negatívnej vrstvy, ktoré vodičmi putujú do pozitívne nabitej vrstvy, čím vzniká elektrický prúd v okruhu medzi vrstvami polovodičov. Elektróny uvoľnené z negatívne nabitej vrstvy sú zachytávané sieťou kovových vodičov, späť zo siete sa vracajú cez kovovú platňu na povrchu pozitívne nabitej vrstvy.

Väčšina článkov produkuje napätie o veľkosti približne 0,5V bez ohľadu na plochu článku avšak čím väčšia je táto plocha, tým väčší prúd článok produkuje. Napätie 0,5V je pre väčšinu aplikácii nedostatočné, preto sa články zapájajú do série. Niekoľko takto vytvorených sérii môže byť spolu zapojených paralelne, aby sa zväčšil tiež produkovaný prúd. Takto pospájané články sú prikryté z vrchnej strany priehľadným plastom alebo sklom s nízkym obsahom železa. Úlohou tejto vrstvy je chrániť články pred vonkajšími vplyvmi, zároveň však musí mať nízku odrazivosť slnečného žiarenia a nesmie článok tepelne izolovať, pretože účinnosť fotovoltických článkov s rastúcou teplotou klesá. Všetky vrstvy panelu drží pohromade rám, ktorý ich zároveň bráni pred poškodením počas montáže. [4, 19]

Najpoužívanejším prvkom pri výrobe fotovoltických článkov je kremík, keďže je to druhý najrozšírenejší prvok v zemskej kôre a tiež najpreskúmanejší polovodič. Vo fotovoltických článkoch sa využíva v kryštalickej ako aj v amorfnej forme. [20]

Najúčinnejšie kremíkové panely využívajú články, ktoré sú tvorené kremíkovými monokryštálmi, tzv. monokryštalické panely. Účinnosť komerčne dostupných panelov tohto typu sa pohybuje v rozmedzí 13 až 17 %. Výroba monokryštalického kremíka je však komplikovaná, čo sa odráža na výslednej cene panelov využívajúcich túto technológiu. Lacnejšou alternatívou sú panely s článkami z polykryštalického kremíka, ktorého výroba je podstatne jednoduchšia. Ich účinnosť je len o málo nižšia, spravidla sa pohybuje od 12 do 14 %. Tento typ panelov je celosvetovo najpoužívanejší. V súčasnosti najlacnejšie sú však tzv. tenkovrstvé kremíkové panely, ktorých články využívajú tenkú vrstvu amorfného kremíka nanesenú na sklo alebo fóliu. Účinnosť komerčne dostupných tenkovrstvých panelov sa však pohybuje len od 7 do 9 %. Okrem nízkej ceny majú aj iné výhody. Amorfný kremík nanesený na fóliu je ohybný, čo umožňuje jeho montáž na rôzne tvarované plochy. Ďalšou výhodou je ich schopnosť dobre fungovať v širšom rozsahu intenzity žiarenia a aj pri čiastočnom zatienení. Na rozdiel od panelov s kryštalickým kremíkom, ktoré s rastúcou teplotou strácajú účinnosť, tenkovrstvé panely pracujú dobre aj pri extrémnych teplotách. [19,20]



Obr. 12 Tri typy kremíkových fotovoltických článkov. [21, 22, 23]

Výskum v oblasti fotovoltických článkov prináša pravidelne nové technológie, ktoré prekonávajú súčasné kremíkové články v účinnosti. Za zmienku stoja hlavne tenkovrstvé gálium-arzenidové články s účinnosťou cez 26 % alebo viacvrstvové monokryštalické články prekonávajúce hranicu 40 %.

4.2 Fototermické kolektory

Slnčný kolektor je zariadenie, ktoré absorbuje naň dopadajúce slnečné žiarenie a premieňa ho na teplo. Žiarenie dopadajúce na absorbčnú plochu kolektora je zachytené a odovzdávané teplonosnému médiu prúdiacemu cez kolektor. Týmto médiom môže byť buď vzduch alebo omnoho častejšie kvapalina, napríklad voda, nemrznúca zmes, silikónový olej a iné kvapaliny s dobrými teplonosnými vlastnosťami. V porovnaní s fotovoltickými panelmi je účinnosť týchto zariadení pomerne vysoká, keďže pri optimálnych podmienkach dokáže bežný kolektor premeniť 75 až 80 % dopadajúceho žiarenia na teplo. Túto maximálnu tzv. optickú účinnosť však kolektor nedosahuje vždy, keďže jeho výkon je okrem intenzity naň dopadajúceho slnečného žiarenia ovplyvňovaný tiež teplotou okolia a požadovanou teplotou ohrevu.

Podľa typu konštrukcie môžeme solárne kolektory rozdeliť do niekoľkých skupín: ploché kolektory, kolektory s vákuovými trubicami a koncentrujúce kolektory.

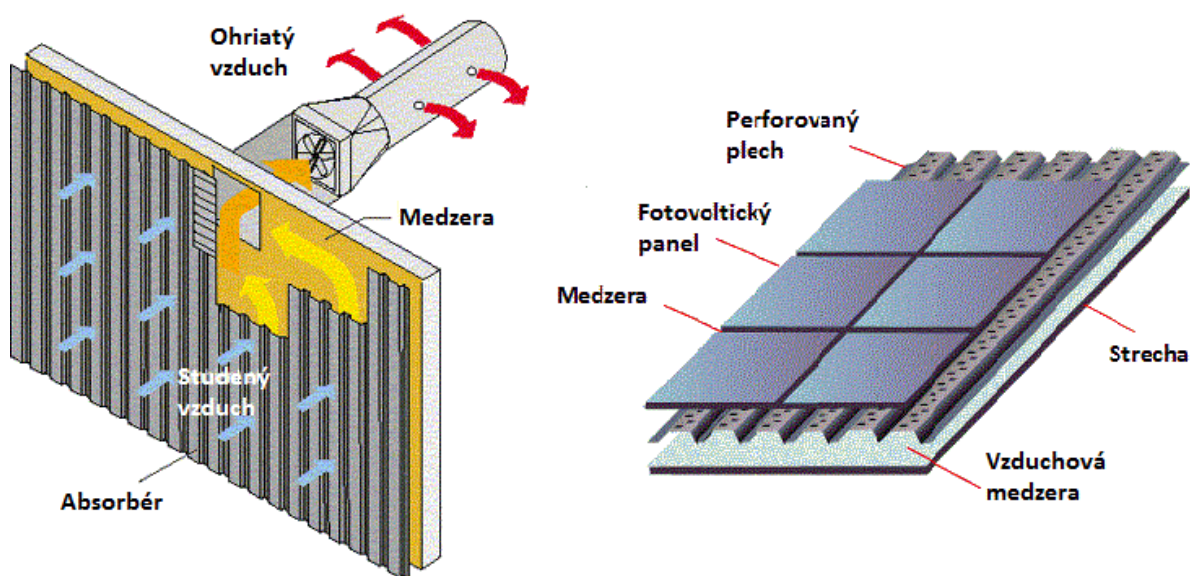
4.2.1 Vzduchové kolektory

Vzduchové kolektory sú jednoduché ploché kolektory, ktorých teplonosným médiom je vzduch. Zvyčajne sa skladajú z hliníkového rámu, izolácie na zadnej strane a bokoch kolektora, temperovaného skla na prednej strane a kovového materiálu plniaceho funkciu absorbéra.

Vzduch z okolia je vťahovaný do kolektora na jeho spodnej strane, pri prechode kolektorom prichádza do styku s absorbérom a na vrchu vychádza ohriaty. Prúdenie vzduchu cez kolektor zabezpečuje ventilátor na výstupe z kolektora ako aj prirodzená konvekcia vzduchu. Pre zlepšenie prenosu tepla medzi absorbérom a vzduchom sú vo vzduchových kolektoroch inštalované priečky, ktoré predlžujú trasu, ktorú vzduch prejde cez kolektor. Vzduch môže pri prechode kolektorom prúdiť buď medzi absorbérom a zadnou izoláciou, medzi absorbérom a sklom, alebo po oboch stranách absorbéra. Pri prúdení po oboch stranách je plocha, na ktorej dochádza k prestupu tepla najväčšia, avšak prúdenie vzduchu môže spôsobiť ukladanie prachu na osvetľovanej strane absorbéra, čo zníži tepelné zisky zo žiarenia. V oblastiach

s chladnejším podnebím je vhodnejšie použiť kolektor s vzduchom prúdiacim popod absorbér, aby sa znížili straty tepla cez priehľadné predné krytie kolektoru. [24]

Niektoré typy vzduchových kolektorov nevyžadujú priehľadné pokrytie ani izoláciu. Tieto kolektory sú vyrobené len z čierneho perforovaného plechu, ktorý slúži ako pokrytie aj ako absorbér zároveň. Ten je nainštalovaný priamo na slnečnú stranu budovy, čím je vytvorená medzera medzi stenou budovy a plechom, pri prechode ktorou sa vzduch ohrieva. Tieto kolektory sa môžu tiež inštalovať na spodnú stranu fotovoltaických panelov, čím sa vytvorí hybridný solárny PVT (Photovoltaic thermal) modul. Účinnosť takéhoto modulu je vyššia, keďže vzduchový kolektor umožní využiť časť odpadového tepla, čím tiež chladí fotovoltaické články, ktoré pracujú pri nižších teplotách s lepšou účinnosťou. [24, 25]



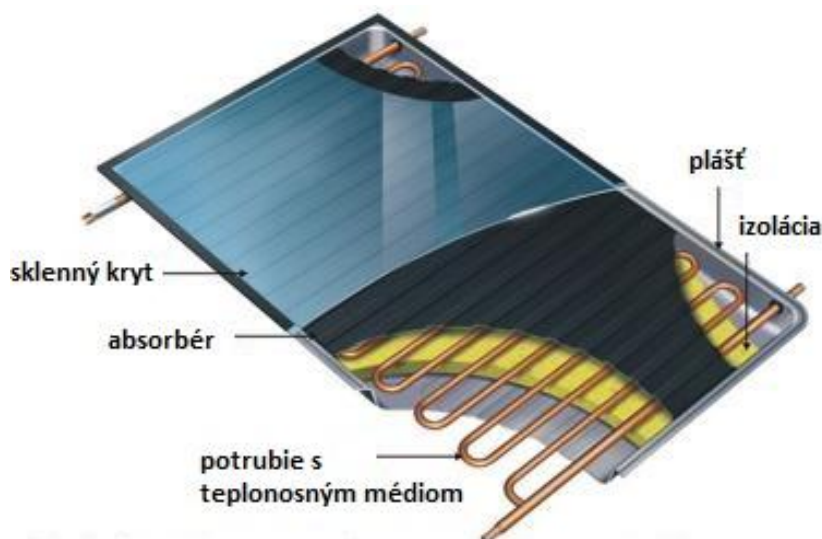
Obr. 13 Vzduchový kolektor z perforovaného plechu, PVT modul. [25,26]

Výhodami vzduchových kolektorov sú ich jednoduchá konštrukcia, dlhá životnosť, ktorá môže dosahovať až 30 rokov ako aj ich nenáročné prevádzkovanie, keďže u nich nehrozí zamrznutie teplotnosného média v zime alebo naopak var v lete. Vzhľadom na nižšie teploty ohrevu je možné použiť na ich výrobu lacnejšie materiály, vďaka čomu je ich cena relatívne nízka v porovnaní s kolektormi pracujúcimi s kvapalným médiom. Na druhú stranu je súčiniteľ prestupu tepla medzi absorbércom a vzduchom nižší, čo znamená menšie tepelné zisky a nižšie teploty ohrevu. [24]

Vzduchové kolektory sa najčastejšie používajú pre vykurovanie priestorov alebo sušenie poľnohospodárskych plodín. V aplikáciách solárneho chladenia je možné ich použiť pri systémoch, ktoré nevyžadujú vysokú teplotu pre ich pohon. Jedná sa teda o zariadenia pracujúce s otvoreným cyklom.

4.2.2 Ploché kvapalinové kolektory

Ploché kolektory s kvapalným médiom sú konštrukciou aj princípom fungovania podobné vzduchovým kolektorom s priehľadným krytom. Skladajú sa z plášt'a, väčšinou vo forme hliníkovej vane s izolačnou vrstvou z minerálnej vaty na dne, potrubia s teplonosnou kvapalinou, plechového absorbéra a priehľadného krytu na vrchu. Úlohou krytu je znížiť tepelné straty spôsobené konvekciou a chrániť absorbér pred nepriaznivým počasím, pričom musí prepustiť čo najviac žiarenia na absorbér. Na jeho výrobu sa väčšinou používa sklo s nízkym obsahom železa.



Obr. 14 Plochý kvapalinový kolektor s meandrovým potrubím. [27]

K samotnej premene žiarenia na teplo dochádza v absorbéri. Ten ho vedením odovzdáva kvapaline prúdiacej v trubkách na ňom upevnených. Aby plnil túto úlohu s čo najvyššou účinnosťou, musí byť vyrobený z materiálu s vysokou tepelnou vodivosťou. Najčastejšie sa používa meď alebo hliník. Pre lepšiu absorpciu žiarenia je absorbér pokrytý matným čiernym náterom, alebo selektívnou vrstvou, ktorá dobre absorbuje vlnenie vo viditeľnej časti spektra a zároveň má nízku emisivitu v oblasti infračerveného žiarenia, teda žiarenia, ktoré je emitované pri teplotách, na ktorých pracuje kolektor. [4]

Čím tesnejšie je spojenie medzi absorbérom a trubkami, tým lepší je aj prestup tepla medzi nimi. Dobré, ale drahé z tohto hľadiska sú pájkované spoje po celej dĺžke potrubia. Potrubie môže byť vyhotovené vo viacerých verziách. Často sa používa paralelné usporiadanie, teda niekoľko rovnobežných trubiek spájajúcich vstupné potrubia na jednej strane so zberným potrubím na druhej strane kolektora. Iné časté usporiadanie je takzvaný meander, keď je celým kolektorom vedená jedna tenká trubka s niekoľkými 180 stupňovými ohybmi.



Obr. 15 Plochý kvapalinový kolektor s rovnobežnými trubicami. [28]

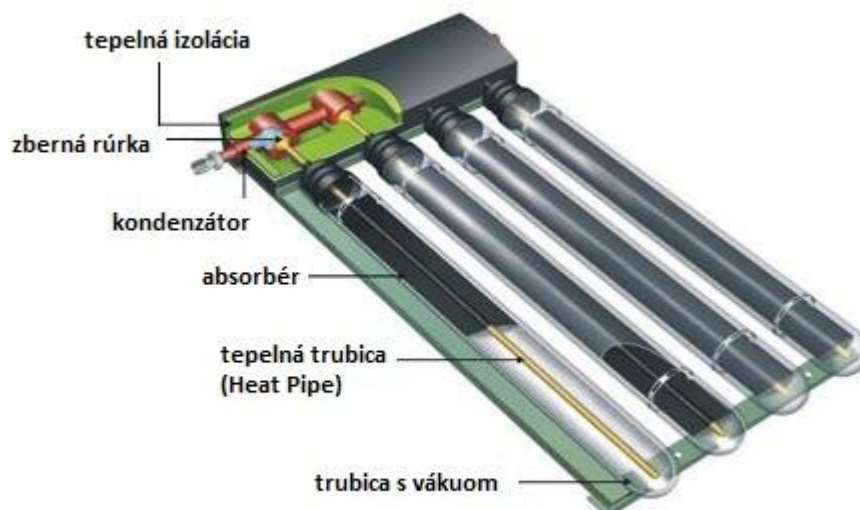
Účinnosť kolektorov s rastúcim rozdielom teplôt medzi absorbérom a okolitým prostredím klesá. Pokles účinnosti sa dá redukovať použitím lepšej izolácie alebo vytvorením vákua v kolektore. [1]

Optická účinnosť plochých kolektorov sa pohybuje v rozmedzí 75 – 85%. A ich priemerná ročná účinnosť sa v podnebných podmienkach strednej Európy pohybuje okolo 50 %. Pre montáž kolektorov sa štandardne používa sklon 45 °, pre optimálne využitie žiarenia sa používa v zimnom období iný sklon ako v lete.

Ploché kolektory sa najčastejšie používajú na ohrev vody a v rastúcej miere aj na prikurovanie priestorov. V aplikáciách solárneho chladenia sú často používané pre pohon zariadení s otvoreným cyklom, adsorpčných chladničiek alebo jednostupňových adsorpčných chladničiek s vodou a LiBr ako pracovnými kvapalinami.

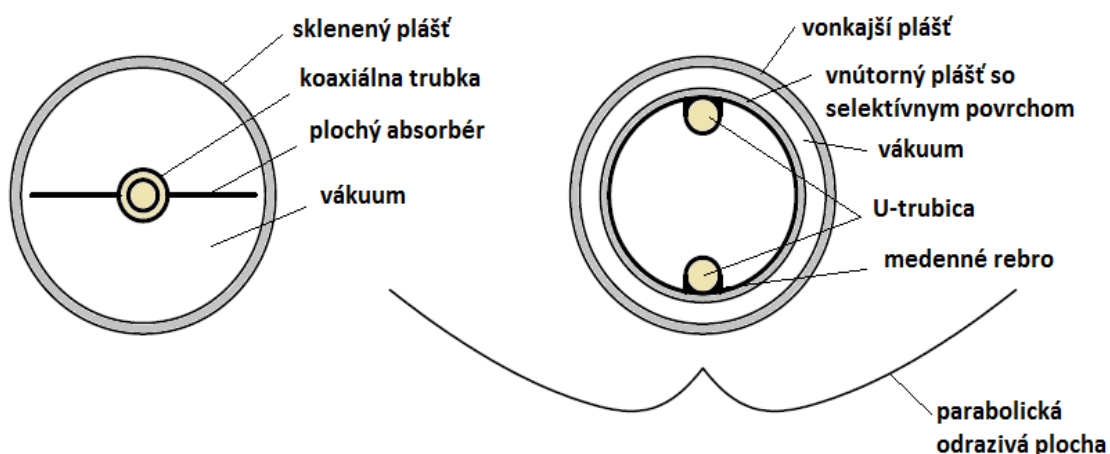
4.2.3 Kolektory s vákuovými trubicami

Kolektory s vákuovými trubicami, sa skladajú z niekoľkých rovnobežných trubic s vlastným absorbérom, napojených na spoločné izolované potrubie. Tieto kolektory dokážu dobre absorbovať rozptýlené žiarenie, preto majú v čase bez priameho slnečného svitu vyššiu účinnosť ako ploché kolektory. Navyše vďaka vákuu, ktoré tepelne izoluje absorbér si dokážu udržať pomerne vysokú účinnosť aj pri nízkych vonkajších teplotách. Preto sa okrem ohrevu vody často používajú aj pre podporu vykurovania v zimnom období. Keďže sú schopné ohrievať teplotnosné médium na vyššie teploty (nad 180 °C) sú použiteľné ako zdroj tepla aj pre viacstupňové chladiace zariadenia pracujúce v uzavretom cykle.



Obr. 18 Kolektor s vákuovými trubicami s technológiou „Heat Pipe”. [27]

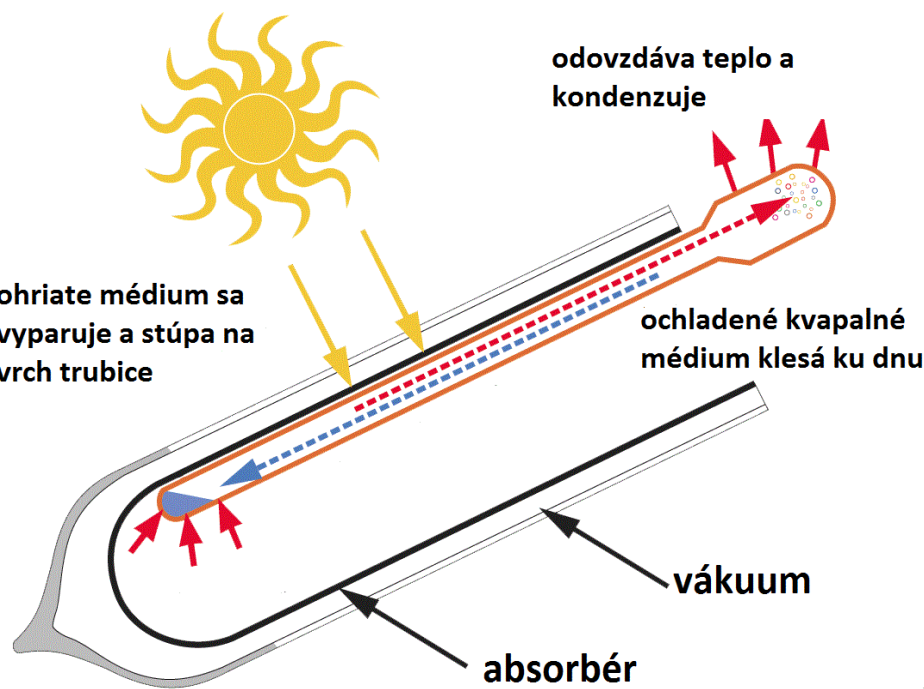
Vákuové trubice môžu byť vyrobené buď s priamym prúdením alebo s technológiou tepelnej trubice (Heat pipe). U vákuových kolektorov s priamym prúdením preteká teplotné médium od rozdeľovača potrubím do spodnej časti trubice odkiaľ sa ohriate vracia do zberného potrubia. Toto prúdenie môže byť realizované pomocou potrubia v tvare U alebo pomocou koaxiálneho potrubia. Výhodou trubic s priamym prúdením je, že kolektor nemusí mať pre správnu funkciu žiadny sklon. Trubice s priamym prúdením bývajú najčastejšie vyhotovené s dvojitém skleným plášťom, pričom vákuum sa nenachádza v celej trubici, ale len v priestore medzi plášťami. Na vnútorný sklený plášť je nanosený selektívny povrch, takže slúži aj ako absorbér. Tento typ trubice má dobrú schopnosť pohlcovať rozptýlené žiarenie, keďže svetlo vo všetkých smeroch dopadá kolmo na plochu absorbéra. Preto je vhodné za kolektor s týmito trubicami umiestniť reflektor, ktorý umožní zúžitkovat' aj inak nevyužitú časť žiarenia prechádzajúcu medzi nimi. [4]



Obr. 16 Vľavo rez jednoplášťovou trubicou s plochým absorbérom, vpravo rez dvojplášťovou trubicou s CPC reflektorom.

U kolektorov pracujúcich na princípe tepelnej trubice neprechádza teplotné médium cez vákuovú trubicu. V tej sa nachádza iná kvapalina, väčšinou etanol, ktorá sa po ohriati vyparí. Horúca para potom stúpa na vrch tepelnej trubice, kde v malom kondenzátore odovzdáva teplo teplotnému médiu v solárnom okruhu, čím sa ochladí a steká opäť na spodok tepelnej trubice. Aby tento kolobeh fungoval, musí mať kolektor sklon aspoň 30 °. [29]

Toto riešenie má výhodu v jednoduchšej montáži a tiež umožňuje výmenu trubíc aj počas prevádzky, keďže trubica nie je priamo napojená na zvyšok solárneho okruhu (tzv. suché spojenie). [27]

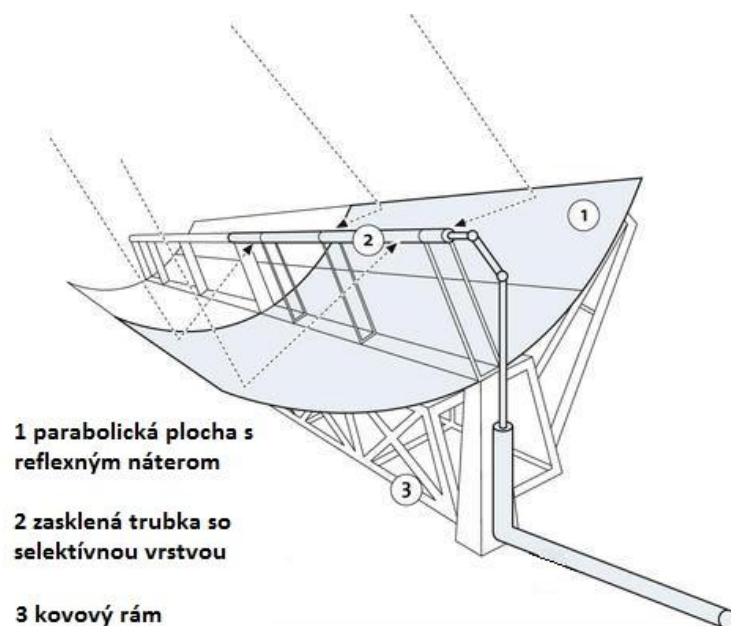


Obr. 17 Schéma fungovania tepelnej trubice (Heat Pipe). [30]

4.2.4 Koncentrujúce kolektory

Koncentrujúce kolektory využívajú veľké zrkadliace povrchy, ktoré koncentrujú na ne dopadajúce žiarenie do svojho ohniska, v ktorom je umiestnený absorber. Koncentrujúce kolektory dokážu efektívne premieňať len priame slnečné žiarenie, preto sú vhodné k použitiu v oblastiach s minimom oblačných dní. Pre maximalizovanie tepelných ziskov môžu byť vybavené naráčacím mechanizmom, ktorý zabezpečí aby žiarenie dopadalo kolmo na plochu reflektora po čo najdlhšiu dobu.

Odráživá plocha kolektora býva najčastejšie vyhotovená vo forme parabolického koryta alebo parabolického taniera. U prvého typu je slnečné žiarenie koncentrované do jednej ohniskovej čiary, ktorou prechádza tzv. prijímač (reciever), ktorý tvorí potrubie so selektívnym náterom, odizolované skleným plášťom pre zníženie strát konvekciou. Žiarenie koncentrované v ohniskovej čiare môže mať 30 až 60 krát vyššiu intenzitu ako žiarenie dopadajúce na odráživú plochu. Preto môžu teploty ohrevu teplotného média dosahovať až 400 °C. [4]



Obr. 19 Koncentrujúci kolektor s odrazivou plochou v tvare parabolického valca. [31]

Kolektory s odrazivou plochou v tvare parabolického taniera koncentrujú na ne dopadajúce žiarenie do jedného ohniskového bodu a absorbér v ňom umiestnený dokáže ohriať až na 1000 °C. Uchytenie na stojanoch s natáčaním v dvoch osách im umožňuje „sledovať“ slnko počas celého dňa. V kombinácii s tepelným motorom dosahujú dobrú účinnosť pri výrobe elektrickej energie.



Obr. 20 Koncentrujúci kolektor so Stirlingovým motorom firmy Infinia. [32]

5 REALIZOVANÉ SYSTÉMY SOLÁRNEHO CHLADENIA

5.1 Klimatizácia nemocnice

- Poloha: Echuca (Austrália)
- Chladiace zariadenie: Absorpčná chladnička firmy BROAD s výkonom 500kW
Teplota ochladenej vody: 6 °C
- Použité kolektory: Kolektory s vákuovými trubicami s plochým absorbérom spolu 1632 trubíc
Teplota ohriateho média: 95 °C
- Rok realizácie: 2011
- Najväčší solárny chladiaci systém v Austrálii



Obr. 21 Časť kolektorové poľa a nádrže s horúcou vodou. [33]

5.2 Klimatizácia výrobnjej haly

- Poloha: Inofita Viotias (Grécko)
- Chladiace zariadenie: 2 adsorpčné jednotky, každá s výkonom 350kW
3 kompresorové jednotky, každá s výkonom 350kW
- Použité kolektory: Ploché kvapalinové kolektory
Celková plocha kolektorov: 2700m²



Obr. 22 Kolektorové pole a dve adsorpčné chladničky. [34]

5.3 Chladenie vinného skladu

- Poloha: Banylus (Francúzsko)
- Chladiace zariadenie: Absorpčná chladnička s výkonom 52kW
- Použité kolektory: Kolektory s vákuovými trubicami
Plocha: 130m²
- Rok realizácie: 1995 (Jeden z najstarších systémov)
- Pracuje bez záložného systému.
- Chladenie približne 3 miliónov fliaš vína tromi vzduchovými jednotkami.



Obr. 23 Kolektory s vákuovými trubicami na streche skladu. [34]

5.4 Klimatizácia zasadacej miestnosti a jedálne

- Poloha: Freiburg (Nemecko)
- Chladiace zariadenie: Desikačné zariadenie s rotorom zo silikagélu (10200m³/h)
- Použité kolektory: Vzduchové kolektory
Plocha: 100m²
- Pracuje bez záložného systému.



Obr. 24 Zasadacia miestnosť a vzduchové kolektory na streche budovy. [34]

5.5 Klimatizácia hotela

- Poloha: Dalaman (Turecko)
- Chladiace zariadenie: Dvojstupňová absorpčná chladnička s výkonom 116kW
Chladiaci faktor: 1,2
- Použité kolektory: Koncentrujúce kolektory
Plocha: 180m²
Teplota ohriateho média: 180 °C
- Prvý systém s dvojstupňovou chladničkou.
- Pracuje so záložným kotlom na LPG.



Obr. 25 Kolektorové pole. [34]

5.6 Klimatizácia rodinného domu

- Poloha: Alzenau (Nemecko)
- Chladiace zariadenie: Adsorpčná chladnička chilli STC8 (H₂O/silikagél)
s výkonom 7,5kW
- Použité kolektory: ploché kolektory
Plocha: 24m²
- Pracuje so záložným kotlom na biomasu.
- Súčasťou systému je 2000 l nádrž na teplú vodu.



Obr. 26 Kolektory na streche rodinného domu, adsorpčná jednotka a malá chladiaca veža pre odvod odpadového tepla . [35]

ZÁVER

Myšlienka využitia solárnej energie pre chladenie nie je nová a v posledných desaťročiach bolo v tejto oblasti vyvíjaných a testovaných viacero rozdielnych technológií. Niektoré z nich sa už uplatňujú na trhu a iné skončili v laboratóriu. V prvých troch kapitolách bol vypracovaný prehľad týchto zariadení a popísané princípy ich fungovania ako aj často sa vyskytujúce modifikácie. Zo všetkých popisovaných technológií sa s najväčším potenciálom do budúcnosti javia sorpčné chladiace jednotky. Z nich najmä tie pracujúce v uzavretom cykle s tuhým sorbentom nachádzajú v súčasnosti široké uplatnenie tam, kde je dostupné odpadové teplo. Najvyšší chladiaci faktor z teplom poháňaných jednotiek dosahujú práve viacstupňové zariadenia tohto typu. Tie však potrebujú vysoké teploty generátora, ktoré sú zatiaľ schopné dosahovať len koncentrujúce solárne kolektory, nepoužiteľné v podmienkach strednej Európy. Preto sa ako vhodné pre použitie v tejto oblasti javia najmä zariadenia pracujúce pri nižších teplotách, ktoré je možné dosahovať plochými kolektormi, alebo kolektormi s vákuovými trubicami.

V štvrtej kapitole boli popísané najčastejšie používané technológie pre konverziu slnečného žiarenia na teplo alebo elektrickú energiu. V mnohých krajinách viedli štátne dotácie k rozvoju týchto technológií a zvýšeniu dopytu po nich. V súčasnosti je na trhu mnoho výrobcov poskytujúcich fototermické kolektory, ktoré dokážu pracovať s dobrou účinnosťou aj v chladnejších oblastiach s nižšou intenzitou slnečného žiarenia. Aj v oblasti fotovoltiky prichádzajú na trh stále účinnejšie panely a technológie v súčasnosti testované dosahujú často dva krát vyššiu účinnosť ako tie komerčne dostupné.

Najväčšou nevýhodou solárnych chladiacich systémov je ich odkázanosť na dostupnosť slnečného žiarenia. Preto musia v aplikáciách, kde sa dá očakávať potreba chladenia aj v dobe bez dostupného solárneho tepla pracovať so záložným zdrojom, čo ešte navýši už tak vysoké zriaďovacie náklady. Napriek tomu sa však tieto systémy stávajú vďaka svojej dlhej životnosti a vysokým cenám energií v niektorých prípadoch výhodné okrem environmentálneho aj z ekonomického hľadiska. Navyše kolektory použité pre ich pohon môžu byť použité pre ohrev vody alebo vykurovanie v zimnom období, čo skracuje dobu návratnosti investície do systému.

POUŽITÉ ZDROJE

- [1] GUYER, J. Paul. *Introduction to Solar Cooling Systems*. [online]. 2010 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.cedengineering.com/upload/Intro%20To%20Solar%20Cooling%20Systems.pdf>
- [2] WIKA's R-1 and AC-1 Pressure Transducers Featured at AHR Expo. In: *Wika Worldwide* [online]. 2009 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: http://www.wika.us/AN_10109_en_us.WIKA?ActiveID=12613
- [3] Peltierov jav. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012, 2010 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://sk.wikipedia.org/wiki/Peltierov_jav
- [4] RONA, Nathan. *Solar Air-Conditioning Systems: focus on components and their working principles* [online]. 2004 [cit. 2012-05-11]. ISSN 1652-6007. Dostupné z: http://services.eng.uts.edu.au/~johnd/Garry%27s%20Course/07_SolarAir-conditioning_eBookEdition.pdf
- [5] HAIDAR, Sajjad. *Thermodynamics of a Peltier Cell* [online]. 2007 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.reocities.com/haidarsajjad/PeltierV2.pdf>
- [6] Wavelength electronics: High Precision, Ultra Stable Temperature Controllers & Laser Diode Drivers. *Wavelength electronics* [online]. [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.teamwavelength.com/info/temperaturecontrollers.php>
- [7] Thermoelectric cooling. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 21 April 2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_cooling
- [8] EVAPORATIVE COOLING. *California Energy Commision* [online]. [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: http://www.consumerenergycenter.org/home/heating_cooling/evaporative.html
- [9] Evaporative Cooler. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Evaporative_cooler_annotated.svg
- [10] KIM, D.S. a C.A. INFANTE FERREIRA. Solar refrigeration options – a state-of-the-art review. *International journal of refrigeration* [online]. 2008, č. 31, s. 3-15 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: www.elsevier.com/locate/ijrefrig
- [11] BENCHRIFA, R. a D. ZEJLI. POTENTIAL OF THE DISH / STIRLING TECHNOLOGY INTRODUCTION IN MOROCCO. [online]. 2002 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.cnr.ac.ma/teer/publications/dish%20stirling.htm>
- [12] HÄNDEL, Claus. *Solar Air Conditioning techniques an Overview* [online]. Bietigheim, 2002 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://www.sorptionsgestuetzte-klimatisierung.de/Literatur/Sonderschau/Vortrag_AbuDhabi_Haendel.pdf

- [13] BALARAS, Constantinos A. a Gershon GROSSMAN. Solar air conditioning in Europe - an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2007, č. 11, s. 299-314 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://www.technion.ac.il/pdf/Professors/Gershon_Grosman/7.pdf
- [14] Technical Professionals -Technology Status - Thermally-Activated Machines - Refrigeration Cycle Descriptions. THE MIDWEST CHP APPLICATION CENTER. *Combined heat and power* [online]. 2007 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://www.chpcentermw.org/08-01141_tech.html
- [15] GROSSMAN, Gershon. Solar powered systems for cooling, dehumidification and air-conditioning. *Solar Energy* [online]. 2002, č. 72, s. 53-62 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X01000901>
- [16] GBU MBH. *Adsorption Chiller NAK: Technical description* [online]. Bensheim, 1999 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/36902805/Adsorption-Chiller-NAK-GBU>
- [17] WANG, R.Z. a R.G. OLIVEIRA. Adsorption refrigeration: An efficient way to make good use of waste heat and solar energy. *Progres in Energy and combustion science* [online]. 2006, č. 32, s. 424-458 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://me.sjtu.edu.cn/teacher_files/2008519283773463.pdf
- [18] WANG, R.Z. Solar sorption cooling systems for residential applications: Options and guidelines. *International Journal of Refrigeration* [online]. 2009, č. 32, s. 638-660 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700709000474>
- [19] POLAR POWER INC. *Polar Power* [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://polarpowerinc.com/info/operation20/operation23.htm#2.3>
- [20] Fotovoltaické solárne systémy. IVAR SLOVENSKO S.R.O. *SenzorSpektrum* [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://senzorspektrum.automatizacia.sk/sk/Usporne-zdroje-energie/Solarne-systemy/Fotovoltaicke-solarne-systemy.alej>
- [21] ZG-Cells [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.zg-cells.com/solar-cells/721305.html>
- [22] Solar Cell Section. *Servo Vision: Precision in Motion and Vision* [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://www.servovision.com/solar_cell/solar_cell_section.html
- [23] Types of Solar Panels. In: *SunConnect* [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.sunconnect.com.au/solar-panel-info/types-of-solar-panels/>
- [24] Vzduchové kolektory. *GreenPower slovakia* [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://lelkes.home.sk/greensk/index.php?option=com_content&task=view&id=15&Itemid=15
- [25] Transpired air collector. *The Encyclopedia of Alternative Energy and Sustainable Living* [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE_transpired_air_collector.html

- [26] How SolarWall PVT System Work:. CONSERVAL ENGINEERING INC. *SolarWall* [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE_transpired_air_collector.html
- [27] Solárne kolektory. *Prvá solárna* [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.prvasolarna.eu/popis>
- [28] Solar Hot Water Panels. *Novative* [online]. [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <http://www.novativemedia.com/residential-solar-panels/solar-hot-water-panels.php>
- [29] Druhy slnečných kolektorov. *E-Filip* [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.e-filip.sk/default.aspx?contentID=1277>
- [30] Sustainability. *B&ES: Building and Engineering Services Association* [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.b-es.org/sustainability/solar-thermal-guidance/>
- [31] Solar Millenium licensing parabolic trough technology for two Spanish solar projects. In: *RENEWBL* [online]. 2010 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.renewbl.com/2010/12/30/solar-millenium-licensing-parabolic-trough-technology-for-two-spanish-solar-projects.html>
- [32] *INFINIA* [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.infiniacorp.com/360view.html>
- [33] Solar Assisted Cooling Project. [online]. 2011 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://www.sustainability.vic.gov.au/resources/documents/PRO092_Renewable_Energy_Echuca_Hospital_factsheet.pdf
- [34] HENNING, Hans-Martin. Solar Cooling and Air-Conditioning. [online]. 2007 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://esttp.org/cms/upload/pdf/070202_4_EUSEW_Henning.pdf
- [35] ULI, Jakob. SOLAR NEXT AG. *Solare Kühlung*. 2008. Dostupné z: http://www.solarnext.eu/pdf/ger/publications_presentations/jakob/08SolarPartnerSued_Solare_Kuehlung.pdf