SOLAIR

Increasing the Market Implementation of Solar Air-Conditioning Systems for Small and Medium Applications in Residential and Commercial Buildings

Zahteve pri načrtovanju
majhnih in srednje velikih
solarnih hladilnih sistemov

Priročnik za načrtovanje



SOLAIR

Increasing the Market Implementation of Solar Air-Conditioning Systems for Small and Medium Applications in Residential and Commercial Buildings

Priročnik za načrtovanje

Ta priročnik je narejen v okviru projekta SOLAIR, ki je podprt s strani programa Evropske Komisije - Inteligent Energy Europe. Projekt SOLAIR želi ustvariti pogoje za uveljavitev solarnega hlajenja stavb s pomočjo ustrezne promocije in strokovnih vodil namenjenih investitorjem in snovalcem stavb, s katerim bi zagotovili zaupanje v tehnologije solarnega hlajenja stavb in njihovo uveljavitev v praksi.

15 April 2009

www.solair-project.eu

Intelligent Energy Europe

Ta priročnik za načrtovanje solarnih hladilnih sistemov je eno izmed orodij projekta SOLAIR. Vključuje gradivo in informacije, ki so jih prispevali partnerji projekta. Urednik publikacije je Edo Wiemken, Fraunhofer ISE, Nemčija. Prvo poglavje »Hlajenje in klimatizacija stavb« je pripravil Sašo Medved, Univerza v Ljubljani, Slovenija. Poglavje »Orodja za načrtovanje« pa je izdelala Maria João Carvalho, INETI, Portugalska.

SOLAIR koordinira

- target GmbH, Nemčija

Partnerji konzorcija SOLAIR:

- AEE – Institute for Sustainable Technologies, Avstrija
- Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Nemčija
- Instituto Nacional de Engenharia, Technologia e Innovação INETI, Portugalska
- Politecnico di Milano, Italija
- Univerza v Ljubljani, Slovenija
- AIGUASOL, Španija
- TECSOL, Francija
- Federation of European Heating and Air-conditioning Associations RHEVA, Nizozemska
- Centre for Renewable Energy Sources CRES, Grčija
- Ente Vasco de la Energia EVE, Španija
- Provincia di Lecce, Italija
- Ambiente Italia, Italija

SOLAIR je podprt s strani

Intelligent Energy Europe

Avtorji te publikacije so v celoti odgovorni za njeno vsebino. Stališča niso nujno enaka stališčem Evropske skupnosti. Evropska Komisija ni odgovorna za uporabo informacij iz te publikacije.

Kazalo vsebine

Priročnik za načrtovanje 3
Kazalo vsebine 5
Uvod 6
Uvod 7
1 Hlajenje in klimatizacija stavb 9
1.1 Toplotno ugodje v prostorih 9
1.2 Zahteva po hlajenju stavb 13
1.3 Principi varčevanja z energijo 18
1.4 Osnove solarnega hlajenja 22
1.5 Vpliv podnebnih sprememb na toplotno ugodje in rabo energije za hlajenje stavb 23
2 Tehnologije primerne za hlajenje s solarno toploto 26
2.1 Solarni hladilni sistemi z ohlajeno vodo 29
2.2 Sušilno-hlapilni zračni solarni hladilni sistemi (DEC) 37
2.3 Sprejemniki sončne energije 40
3 Glavne zahteve za solarne hladilne sisteme 46
3.1 Prihranek primarne energije 46
3.2 Zahteve za osnovno shemo sistema 50
3.3 Sistem za odvod toplote 52
3.4 Sprejemniki sončne energije 54
4 Izbira primerne tehnologije 60
4.1 Zračni sistemi 62
4.2 Zračni sistem + razvod ohlajene vode 66
4.3 Sistem z dovodom svežega zraka + razvod ohlajene vode 68
4.4 Vodni hladilni sistem 69
5 Manjši sistemi: sheme tipičnih aplikacij 71
6 Priporočila glede spremljanja delovanja in zagotavljanja kakovosti 77
7 Orodja za načrtovanje 84
7.1 Pristopi k načrtovanju 84
7.2 Načrtovanje ''čez palec'' 85
7.3 Preprosta računalniška orodja za osnovno načrtovanje sistemov 87
7.4 Orodja za podrobne simulacije 94

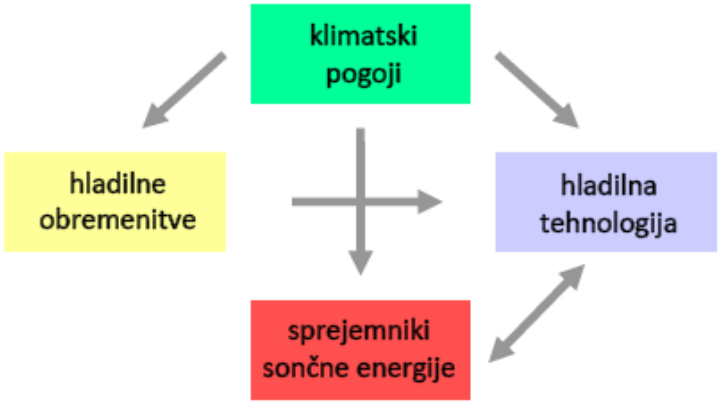
Uvod

Zahteve po hlajenju in klimatizaciji stavb nenehno naraščajo. Tako je na primer prodaja manjših naprav za hlajenje posameznih prostorov (s hladilno močjo do 5 kW) v letu 2008 na svetu znašala približno 82 milijonov enot, od tega jih je bilo v Evropi prodanih 8,6 milijonov. Zaradi tega ne preseneča, da ponekod vršno obremenitev javnega električnega omrežja v poletnem času povzroča prav poraba električne energije v hladilnih in klimatizacijskih sistemih. V Nemčiji, državi, kjer zahteve glede hlajenja stavb zaradi meteoroloških pogojev niso ekstremne, je bil delež električne energije porabljene za hlajenje stavb v letu 2006 ocenjen na 5% celotne rabe električne energije (14% za celoten sektor klimatizacije in hlajenja); v južnih evropskih državah je ta delež najverjetneje še precej višji.
Hlajenje in klimatizacija stavb danes temelji v glavnem na tehnologiji električno gnanih mehanskih kompresorskih naprav. Čeprav novo razviti sistemi večjih zmogljivosti dosegajo visoko učinkovitost, lahko za standardne klimatizacijske sisteme v obstoječih stavbah smatramo, da v povprečju proizvedejo le 3 kWh 'hladu' iz 1 kWh_{el} porabljene električne energije. Posledično to pomeni, da porabimo v povprečju 1 kWh primarne energije za proizvodnjo 1 kWh uporabnega 'hladu'.
V času najvišje potrebe po hlajenju je v večini krajev v EU na voljo veliko sončnega obsevanja, ki se lahko uporabi za proizvodnjo toplote in pogon toplotno gnanih procesov hlajenja in klimatizacije. Ti procesi so v glavnem dobro poznani. Toplotno gnani hladilni sistemi so v zadnjih desetletjih pokrivali samo določene tržne niše, predvsem sisteme večjih zmogljivosti, z uporabo odpadne toplote ali pa toplote iz kogeneracijskih sistemov. Kombinacija te tehnologije in solarnih ogrevalnih sistemov je nova in bolj kompleksna. Zaenkrat deluje v EU le nekaj sto solarnih hladilnih sistemov.
Solarno hlajenje in klimatizacija vpliva na naravi prijazno oskrbo stavb z energijo iz naslednjih razlogov:

- omogočajo znatne prihranke primarne energije in zmanjšujejo emisije CO_2;
- zmanjšujejo obremenitve javnega električnega omrežja v smislu manjše vršne moči ter porabe energije, kar pripomore tudi k večji stabilnosti omrežja;
- kombinirana uporaba toplote za ogrevanje, hlajenje in pripravo tople sanitarne vode povečuje učinkovitost in izkoriščenost solarnega ogrevalnega sistema;
- ne uporabljajo delovnih snovi z visokim ekvivalentom toplogrednega učinka (GWP);
- manjše so emisije hrupa v primerjavi z mehanskimi sistemi s kompresorjem.

Iz teh razlogov je podpora razvoju trga solarnih hladilnih sistemov nujna; ta publikacija, izdelana v okviru projekta SOLAIR[1] predstavlja eno od možnosti za to.

[1] *SOLAIR – Uvajanje majhnih in srednje velikih solarnih hladilnih sistemov v stanovanjskih in poslovnih stavbah (SOLAIR). Podprto s strani Intelligent Energy Europe programa Evropske Komisije. EIE/06/034/S12.446612. Trajanje: do 12/2009.* ***www.solair-project.eu***



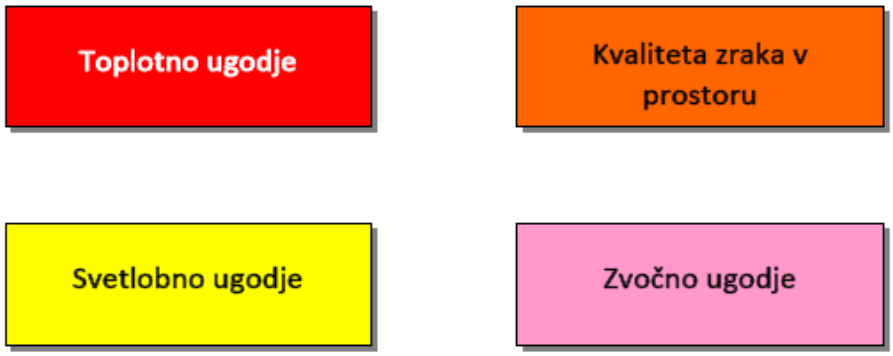
Interakcije pri zasnovi in načrtovanju solarnega hladilnega sistema, ki jih je potrebno upoštevati v fazi načrtovanja.

Pravilna zasnova solarnega hladilnega sistema in izbira komponent je v veliki meri odvisna od podnebnih pogojev kraja kjer delujejo in zahtev po hlajenju. Namen tega priročnika je, da načrtovalcem stavb in stavbnih instalacijskih sistemov predstavi načela načrtovanja, tehnološke zasnove in rešitve ter trenutno stanje tehnologij za solarno hlajenje ter klimatizacijo.
Eden najbolj stroškovno učinkovitih ukrepov za zmanjšanje stroškov hlajenja stavb je zmanjševanje hladilnih obremenitev stavbe že v fazi načrtovanja. Zato je prvo poglavje priročnika posvečeno osnovnim vidikom hlajenja in klimatizacije stavb. Tako bralec dobi osnovo za razumevanje bolj tehnološko zahtevnih poglavij, ki sledijo. Nekateri detajli solarnih hladilnih sistemov so mogoče premalo podrobno predstavljeni, na primer upravljanjem sistema ali podrobno načrtovanje instalacij sistema. Razlog za to je, da še vedno traja proces zbiranja in priprave teh informaciji in znanj.
Vsebinsko je Priročnih za načrtovanje solarnih hladilnih sistemov prilagojen strokovnjakom, ki se ukvarjajo z načrtovanjem sistemov stavbnih instalacij. upamo pa, da bo priročnik uporaben za vse, ki sodelujejo v iterakcijskem procesu načrtovanja stavb.
Obširnejšo predstavitev solarnega hlajenja in klimatizacije lahko najdemo v publikaciji 'Solar Assisted Air-Conditioning in Buildings' [2], izdelani v okviru skupine IEA Task 25, Solar Cooling within the Solar Heating and Cooling Programme (SHC). V Task 38 'Solar Air-Conditioning and Refrigeration', bo nova izdaja tega priročnika na voljo v letu 2010. V kontekstu omenjenih že obstoječih publikacij lahko na tole publikacijo gledamo kot na: enostaven uvod v solarno hlajenje in klimatizacijo, na drugi strani pa kot na tržno in bolj praktično usmerjen priročnik.

[2] *Hans-Martin Henning (Editor): Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings – A Handbook for Planners. Second revised edition 2007. ISBN 978-3-211-73095-9, Springer Wien New York.*

1 Hlajenje in klimatizacija stavb

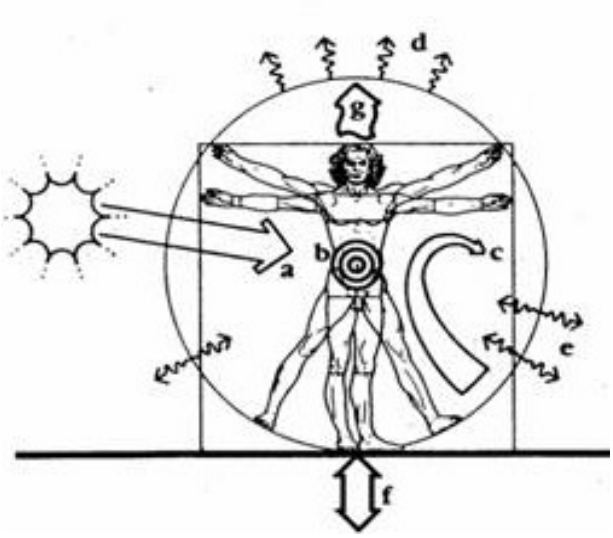
Osnovni cilj vseh snovalcev zgradb je zagotavljanje čimbolj prijetnega, storilnega in zdravega notranjega okolja ljudem, ki bivajo v njih. Izziv pri tem pa je, da optimalno bivalno ugodje dosežemo ob najmanjši porabi energije in najmanjšem vplivu na okolje. Z inženirskega vidika kakovost notranjega okolja ovrednotimo s štirimi skupinami zahtev: toplotno ugodje, kvaliteta zraka v prostoru, svetlobno ugodje in zvočno ugodje. Med njimi je za rabo energije v stavbah še posebej pomembno zagotavljanje toplotnega ugodja.



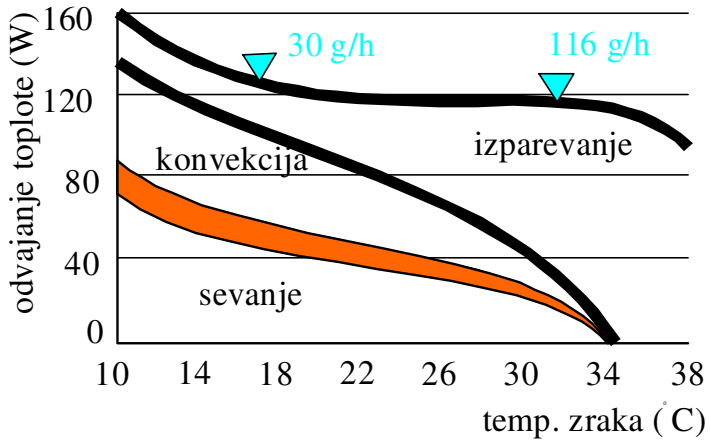
Slika 1.1 *Kakovost notranjega okolja lahko zagotovimo z izpolnjevanjem štirih skupin zahtev*

1.1 Toplotno ugodje v prostorih

Človek je toplokrvno bitje s konstantno temperaturo v notranjosti telesa (37 + 0,8°C), ki je neodvisna od temperature okolice in aktivnosti mišic. Telo proizvaja toploto v notranjih organih z zgorevanjem (oksidacijo) hranilnih snovi. Ta proces imenujemo presnavljanje ali bazalni metabolizem. Presnavljanje naše telo uravnava glede na delo, ki ga moramo opraviti. Podobno kot pri toplotnih strojih velja, da mora telo presežek proizvedene toplote oddati z različnimi mehanizmi prenosa toplote v okolico. Stanje okolja pri katerih nas prenos toplote s telesa na okolico ne moti imenujemo stanje toplotnega ugodja.



Slika 1.2 *Človeško telo oddaja senzibilno in latentno toploto v okolico s pomočjo različnih procesov prenosa toplote. Če ti procesi ne povzročajo neprijetnega počutja je zagotovljeno toplotno ugodje. Telo oddaja toploto v obliki občutene in latentne toplote. Občuteno toploto oddaja s konvekcijo in sevanjem površine telesa na zrak in okoliške površine, s prevodom toplote na mestih, kjer stojimo in izdihavanjem segretega zraka. Latentna toplota pa se v okolico prenaša z difuzijo vodne pare skozi kožo, izparevanjem vode na površini kože in navlaževanjem izdihanega zraka.*



Slika 1.3 *Mehanizmi prenosa toplote in toplotni tok ki ga v okolico oddaja človeško telo so odvisni od temperature in vlažnosti okoliškega zraka – pri nizkih temperaturah sta najpomembnejša mehanizma sevanje in konvekcija, med tem ko pri temperaturah nad 30°C prevladuje latentni prenos toplote. Prikazana je tudi oddana količina vodne pare kot funkcija temperature zraka.*

1.1.1 Parametri notranjega toplotnega ugodja

Delež posameznih mehanizmov prenosa toplote se spreminja glede na stanje notranjega okolja ki ga vrednotimo z vrsto parametrov: temperaturo zraka, srednjo sevalno temperaturo površin, ki nas obdajajo v prostoru, hitrostjo zraka in vlažnostjo zraka. Ker je količina toplote, ki jo odda telo odvisna od težavnosti dela, ki ga opravljamo in od tega kako smo pri tem oblečeni, sta **aktivnost**, ki jo merimo z enoto Met (metabolizem) in **oblečenost**, ki jo navajamo z enoto Clo (cloth) pomembna dodatna parametra, ki vplivata ta toplotno ugodje. 1 Met ustreza 58W, oddanih skozi $1m^2$ površine človeka, kar znese za celotno površino okrog 100 W. Med težkim delom lahko znaša aktivnost tudi do 10 Met, kar ustreza toplotnemu toku 270 W. Clo ustreza toplotni upornosti oblačil. Za golo telo je značilna vrednost clo 0, za poslovno obleko 1 clo in na primer za zimska oblačila 3 clo.

Temperatura zraka v prostoru Ti je najbolj nazoren pokazatelj ustreznosti toplotnega ugodja. Načeloma velja, da mora biti temperatura višja pri manjši aktivnosti in lažji obleki. Za hlajenje stavb je pomembno, da se naše telo prilagodi letnemu času, zato so primerne temperature v bivalnih prostorih pozimi med 20 do 22°C pozimi ter do 26 do 27°C poleti, ko je temperatura okolice nad 30°C.

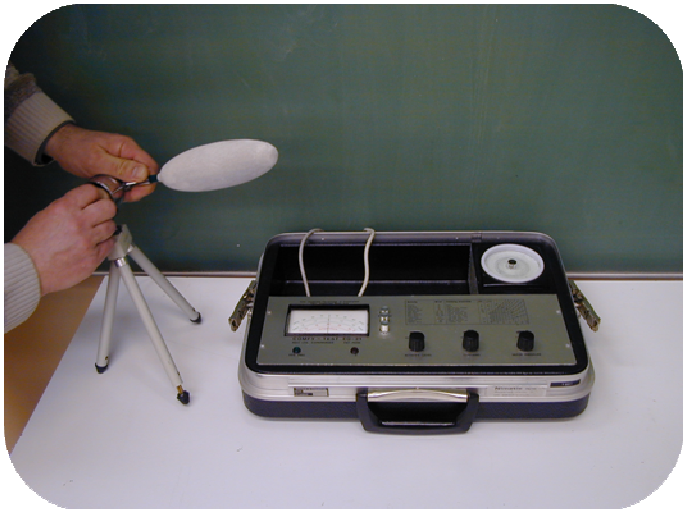
Srednja sevalna temperatura Ts je povprečna temperatura površin, ki omejujejo bivalni prostor. Močno vpliva na sevalni prenos toplote na in s površine telesa v okolico. Razlika med temperaturo zraka Ti in srednjo sevalno temperaturo Ts naj ne presega 2 K. Poleti se lahko s soncem obsijane površine v prostoru in tudi notranja okenska senčila segrejejo na 50 in več °C, kar je lahko moteče. Svetla ali refleksijska zunanja okenska senčila so učinkovit ukrep za znižanje srednje sevalne temperature.

Gibanje zraka v prostoru vpliva na konvektivne toplotne izgube in izparevanje vode, ki jo izločamo skozi kožo in žleze znojnice. Medtem, ko so pozimi moteče **hitrosti zraka** v nad 0,15 m/s, nas poleti ne motijo hitrosti 0,6 m/s ali celo 0,8 m/s. Poleti lahko na primer s stropnimi ventilatorji povečamo hitrost zraka ob naših telesih in okolje tako okolje zaznamo kot hladnejše.

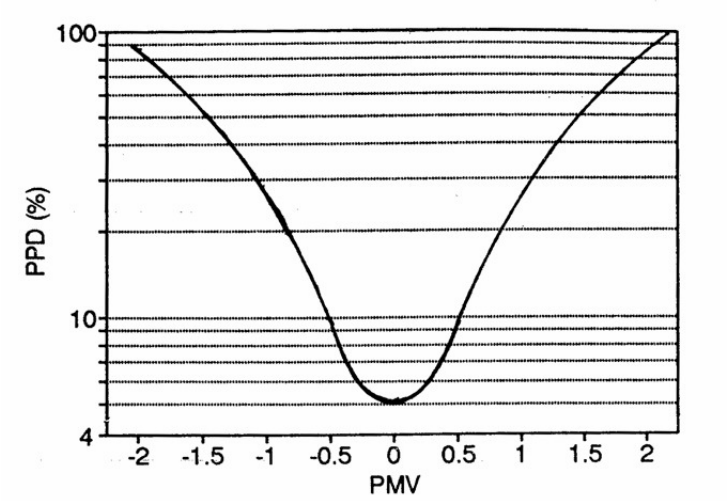
Vlažnost zraka je pomemben parameter toplotnega ugodja, ki vpliva na prenos latentne toplote iz teles na okoliški zrak. Pri višjih temperatura zraka mora biti zato vlažnost zraka nižja. Vlažnost zraka v stavbah se spreminja zaradi prezračevanja stavb in virov vodne pare v prostorih – ljudje oddamo , rastline , pri kuhanju se sprosti. Vlažnosti zraka lahko navajamo kot **absolutno vlažnost x**, ki jo opredeljuje razmerje mase vodne pare (v kg), ki je dodana masi enega kg suhega zraka (tipična vrednost x = 5 do 20 g/kg) ali kot **relativno vlažnost ϕ**, ki ponazarja delež vodne pare v zraku med mejnima vrednostma 0% v suhem zraku in 100% v zraku, ki je nasičen z vodno paro. Pri temperaturi zraka Ti med 20 – 26°C naj bo relativna vlažnost zraka v področju med 70% in 35% oziroma naj absolutna vlažnost manjša od 11,5 g/kg. V praksi znižujemo vlažnost zraka s hlajenjem zraka pod temperaturo rosišča z napravami v prostorih ali s centralnimi klimatskimi napravami. V obeh primerih za razvlaževanje porabljamo električno energijo, razen, če stavbe ne hladimo s solarnimi hladilnimi sistemi.

1.1.2 Integralni kazalniki toplotnega ugodja

Skupen vpliv parametrov toplotnega ugodja vrednotimo z **napovedano stopnja ugodja PMV** - predicted mean vote). Gre za dogovorjeno relativno oceno toplotnega ugodja v notranjem okolju. Vrednost PMV so po dogovoru med -3 (mrzlo), -2(hladno), -1(prijetno hladno), 0 (nevtralno), +1 (prijetno toplo), +2 (toplo) in +3 (vroče). Vrednost PMV 0 predstavlja torej nevtralno okolje, pozitivne vrednosti pa toplejše in negativne vrednosti hladnejše okolje. PMV vrednost določimo z matematičnim izrazom ali na osnovi izmerjenih vrednosti parametrov toplotnega ugodja ter upoštevane aktivnost in oblečenost ljudi v prostoru. PMV lahko povežemo s percentage of dissatisfied people (PPD), ki napove odstotek nezadovoljnih ljudi v opazovanem prostoru.



Slika 1.4 *Instrument za določitev napovedane stopnje ugodja (PMV); tipalo za meritve temperature, hitrosti zraka in vlažnosti ter gumba za vnos vrednosti Met in Clo.*



Slika 1.5 *Povezava med vrednostmi PMV in PPD. Iz grafa je razvidno da bo pri vrednosti PMV +2 80% ljudi nezadovoljnih z njihovim toplotnim okoljem. Vir: [EN ISO 7730, 2005]*

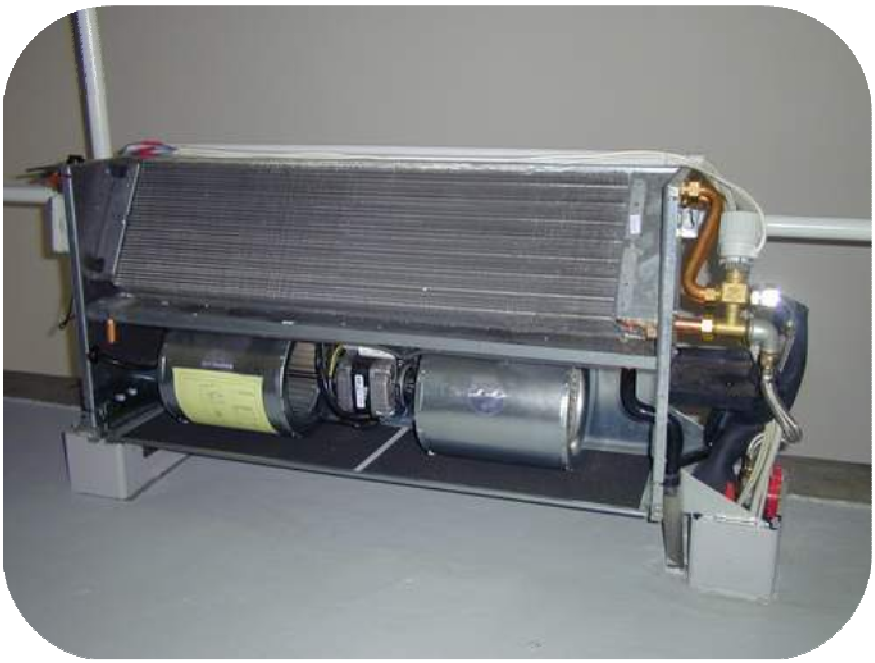
Zahteve glede kakovosti notranjega toplotnega okolja so opredeljene v številnih mednarodnih in nacionalnih standardih in predpisih. Tako standard EN 15251 opredeljuje tri nivoje pričakovanega ugodja : razred A (visoka pričakovanja), razred B (normalna pričakovanja) in razred C (zmerna pričakovanja). Za razred A mora biti PMV +- 0,2 (ustreza PPD < 6%), za B +- 0,5 (PPD < 10%) in za C +- 0,7 (PPD < 15%). EN ISO 7730 definira toplotno ugodje kot stanje, ko se 80% ali več ljudi v tem notranjem okolju počuti ugodno.

Ker je hlajenje stavb tesno povezano s temperaturami in vlažnostjo notranjega zraka lahko uporabimo še nekatere druge kazalnike ugodja. **Humid operative temperature** je temperature okolice s 100% relativno vlažnostjo pri kateri človeško telo enako količino toplote kot v realnem okolju. **Heat stress index** je razmerje celotnih latentnih toplotnih izgub človeškega telesa, ki so potrebne za toplotno ugodje in maksimalnih možnih latentnih toplotnih izgub v istem okolju pomnoženih s faktorjem 100. Decimalna vrednost heat stress index se imenuje skin wettedness.

1.2 Zahteva po hlajenju stavb

1.2.1 Mehansko ali kompresorsko hlajenje

Večina hlajenih stavb je danes hlajena z kompresorskimi hladilnimi oziroma klimatizacijskimi sistemi. V obeh primerih potrebujemo hladilno napravo. Običajno je to toplotna črpalka, ki črpa toploto iz hladnejše stavbe v njeno toplejšo okolico. V primeru manjših sistemov (kompaktne hladilne naprave) se zrak ohlaja neposredno v uparjalniku hladilne enote nameščene v hlajenem prostoru. Pri večjih stavbah so običajno uporabljeni centralni zračni ali vodni hladilni sistemi. V primeru zračnega hladilnega sistema se zrak pred vstopom v stavbo ohladi v klimatizacijski napravi s pomočjo ohlajene vode. Pri vodnih hladilnih sistemih se ohlajena voda preko razvodnega omrežja črpa do končnih prenosnikov toplote (npr. konvektorjev) nameščenih v posameznih prostorih.

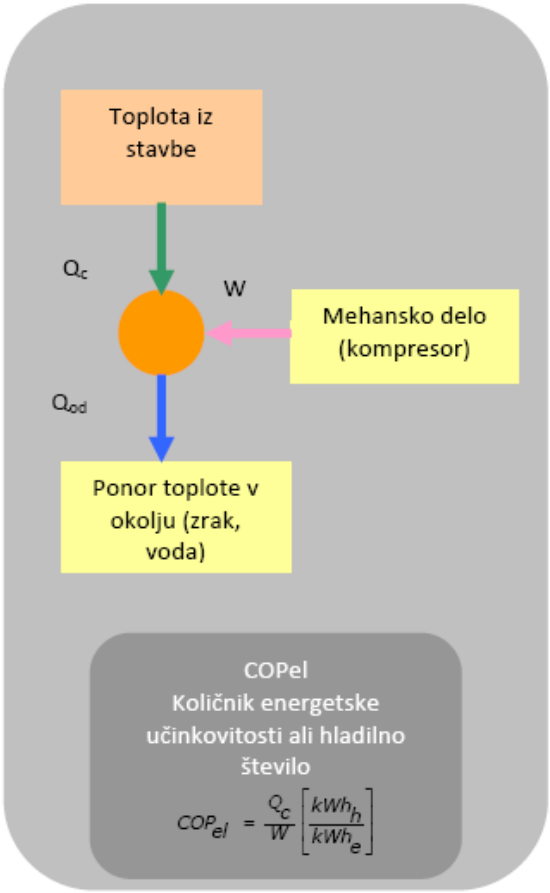


Slika 1.6 *Konvektorska enota s prenosnikom toplote in ventilatorjem kot končni prenosnik toplote v vodnih hladilnih sistemih.*

Za delovanje hladilna naprava potrebuje električno energijo. Ker deluje kot toplotna črpalka je količina toplote, ki se odvaja iz stavbe v okolico znatno večja od količine za to porabljene elektrike. Razmerje med toploto odvedeno iz stavbe Qc in električno energijo W imenujemo količnik energetske učinkovitosti (COP_{el}). Sodobne hladilne enote imajo COP_{el} med 3 in 5, odvisno od hladilne moči in tipa kompresorja. Kljub visokemu COP_{el}, te hladilne naprave še vedno uporabljajo električno energijo, ki se v večini držav proizvaja z visokimi emisijami toplogrednih plinov. Visoka poraba elektrike je značilna za vse modelne družbe. V Evropi se je v zadnjih 50 letih poraba elektrike povečala za faktor 12. Danes je letni porast rabe električne energije dvakrat višji od porasta rabe fosilnih goriv. Sistemi za hlajenje stavb imajo tudi visok faktor istočasnosti, kar posledično vodi k preobremenitvi javnega električnega omrežja. Na primer, v Sloveniji se je konična poraba električne energije v zadnjih letih premaknila iz 19 ure pozimi na 15 uro poleti, kar kaže na povečano potrebo po električni energiji za hlajenje stavb.



Slika 1.7 *Klimatizacijska enota centralnega klimatizacijskega sistema; zrak se hladi z ohlajeno vodo, ki jo zagotavlja hladilna naprava.*



Slika 1.8 *Hladilna naprava deluje kot toplotna črpalka, zato je količina toplote, ki je prenešena iz stavbe v okolico večja kot za to porabljena električna energija. Razmerje se imenuje količnik energetske učinkovitosti COP_{el}. Sodobne hladilne naprave imajo COP_{el} med 3 in 5.*

1.2.2 Hladilne obremenitve in raba energije za hlajenje stavb

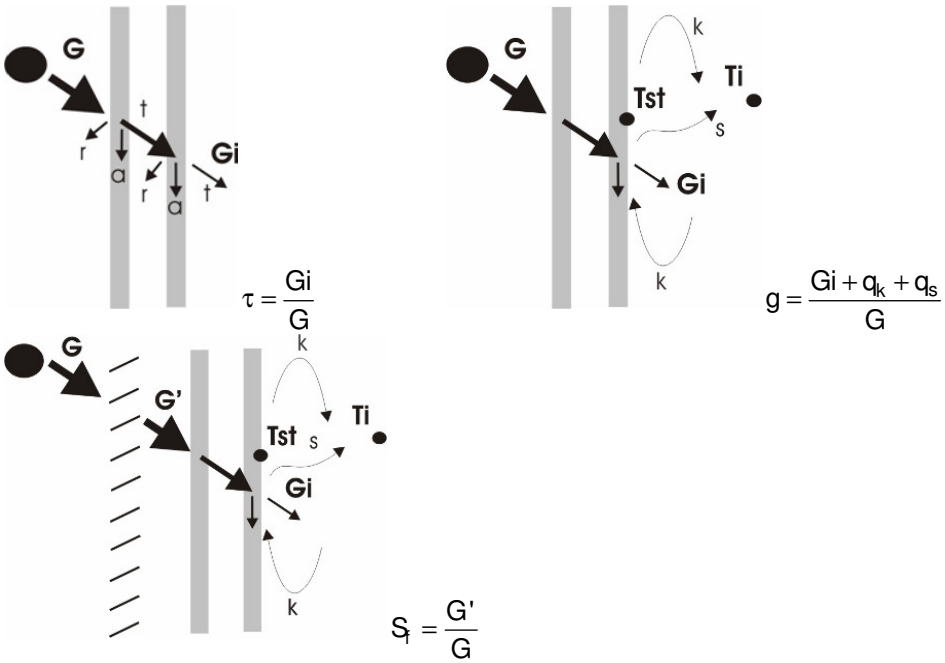
Hladilne obremenitve in potrebno energijo za hlajenje lahko izračunamo z uporabo različnih pristopov. V inženirski praksi se pogosto uporabljajo metodologiji izračunov VDI 2078 in ASHRAE. Ne glede na izbrano metodo izračuna je prvi korak pri analizi hlajenja stavb vedno določitev toplotnih dobitkov. **Toplotne dobitke** delimo na senzibilne in latentne toplotne dobitke. Senzibilni toplotni dobitki izvirajo iz:

- Sončnega obsevanja in prenosa toplote skozi okna
- Nestacionarni prenos toplote skozi ne transparentni del ovoja stavbe
- Notranji toplotni dobitki (ljudje, razsvetljava, naprave,..)
- Prenos toplote z izmenjavo zraka med okolico in stavbo zaradi infiltracije in prezračevanja

Za toplotne dobitke skozi okna in transparentne stene so značilni naslednji optični parametri:

- Prepustnost sončnega sevanja τ
- Energijska prehodnost zasteklitve g
- Faktor senčenja zasteklitve Sf

Prepustnost sončnega sevanja je razmerje med sončnim sevanjem, ki prehaja transparentno snov in vpadnim sončnim sevanjem. Ker se del sončnega sevanja absorbira v zasteklitvi, predstavlja toplota, ki s konvekcijo in sevanjem prehaja iz notranjega stekla v prostor dodatne toplotne dobitke. Skupne toplotne dobitke lahko izrazimo z energijsko prehodnostjo zasteklitve g. e razmerjem med sončnim sevanjem Gi in toplotnim tokom, ki iz zasteklitve prestopa v prostor (qk+qs) ter sončnim obsevanjem Ge na zunanjo površino zasteklitve. Vrednost g je najbolj primerna karakteristika zasteklitve za določanje hladilnih obremenitev. Hladilne obremenitve zaradi transparentnega dela ovoja stavbe lahko znatno zmanjšamo z namestitvijo primernih senčil.



Slika 1.9 *Prepustnost τ zasteklitve je razmerje med prepuščenim (Gi) in vpadnim sončnim sevanjem (G) (levo); celotna energijska prehodnost zasteklitve g je razmerje med vsoto prehajajočega sončnega sevanja (Gi) in toplotnega toka, ki s konvekcijo (qk) in sevanjem (qs) prehaja s stekla v prostor (Gi+qk+qs) ter sončnim sevanjem na zunanjo površino zasteklitve G (sredina); faktor senčenja Sf je razmerje med prepuščenim G' in vpadlim sončnim sevanjem G (desno)*

Toplotni dobitki skozi netransparenten del ovoja stavbe so odvisni od absorbiranega sončnega sevanja (orientacija in barva fasade), toplotne prevodnosti snovi in akumulacije toplote v zidu. Toplotne dobitke v tem primeru analiziramo na več načinov, na primer z urnimi bilancami na

osnovi stacionarnega prenosa toplote, pri čemer nadomestimo temperaturne zraka z referenčnimi temperaturnimi razlikami, ki so podane v VDI 2078. Ker imajo sodobni elementi ovoja stavb nizke toplotne prehodnosti, so v večini primerov toplotni dobitki skozi netransparentne elemente ovoja majhni.
Velikokrat so razlog za pregrevanje stavbe v notranjih toplotnih virih. Človek pri visoki fizični aktivnosti oddaja toplotni tok med 100 W in 250 W. Veliko število naprav, ki je značilno za poslovne stavbe prav tako povečuje notranje toplotne dobitke. Dobra izkoriščenost dnevne svetlobe in uporaba visoko učinkovitih in LED žarnic lahko pomembno prispeva k zmanjšanju hladilnih obremenitev zaradi notranjih toplotnih virov.
Sodobne stavbe so dovolj tesne, da preprečijo vdor okoliškega zraka v stavbo. To pa pomeni, da je za doseganje ustrezne kakovosti zraka v stavbi potrebno mehansko prezračevanje. Mehansko prezračevanje mora biti uravnavano glede na trenutne potrebe po svežem zraku. Tako zmanjšamo hladilno (senzibilno in latentno) obremenitev zaradi dovoda svežega zraka.
Latentni toplotni dobitki se v večini ustvarjajo znotraj stavbe z različnimi viri vodne pare. Na primer, človeško telo odda do 50 g vodne pare na uro, rastline do 20 g na dan. Kljub temu pa je potrebno v bolj vlažnih podnebnih področjih sveži zrak pred dovajanjem v stavbo razvlažiti.
S hladilno obremenitvijo stavbe navajamo toplotni tok (količino odvedene energije v enoti časa), ki ga moramo odvesti iz stavbe, da izpolnimo zahteve toplotnega ugodja. Časovno odvisni toplotni dobitki in hladilna obremenitev stavbe se razlikujejo v amplitudi in časovnem zamiku zaradi akumulacije energije v stavbnih konstrukcijah. Hladilne obremenitve se izračunajo za poletni projektni dan. Kot podatek o hladilni obremenitvi pa upoštevamo maksimalno vrednost v tem dnu. Naprednejše metode so zasnovane na urnih simulacijah z računalniškimi orodji, kot je na primer orodje TRNSYS. V teh orodjih se kot vir meteoroloških podatkov za določen kraj uporablja baza testnega referenčnega leta. Elektronska baza Meteonorm (James & James, VB) vključuje TRL za več kot 5000 lokacij po svetu. Uporaba teh orodij je nujna za izračun rabe energije za hlajenje, ki upošteva urne podatke o hladilni obremenitvi, COP_{el} hladilne naprave in celotno učinkovitost hladilnega sistema.

Podrobni opisi načrtovalnih orodij so predstavljeni v **Poglavju 7**.

Pomembno:
Direktiva o energijski učinkovitosti stavb (EPBD) zahteva, da je v energijskem izkazu stavbe vključena tudi raba energije za hlajenje. Posledično je v nekaterih nacionalnih predpisih nazivna moč hladilnih naprav omejena. V Sloveniji je na primer omejena moč hladilne naprave na 24 W na m^3 volumna stavbe.

1.2.3. Študije primerov

Kot primer uporabe računalniških orodji so v nadaljevanju predstavljeni izbrani primeri stavb z izračunanimi specifičnimi hladilnimi obremenitvami in rabo energije (koristna in končna energija) v poslovnih stavb. Vse stavbe so zgrajene v krajih s celinskim podnebjem.

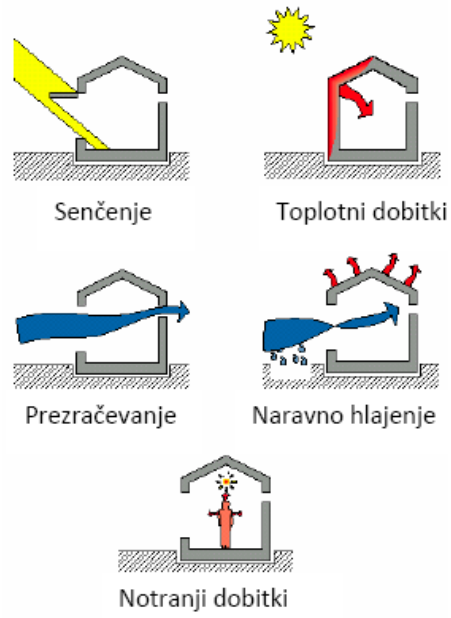
		Hladilna obremenitev (W/m^3)	Hladilna obremenitev (W/m^2)	Raba koristne energije (toplota) (kWh/m^2)	Raba končne energije (elektrika) (kWh/m^2)
Poslovna stavba 1		7,7	21	8	3,4
Poslovna stavba 2		31	84	51	18,7
Poslovna stavba 3		14	38	29	10,6
Nakupo valni center		21,6	76	58	19,2

Tabela 1.1 *Specifične hladilne obremenitve in raba energije v štirih poslovnih stavbah*

Opomba: koristna energija je povezana s količino toplote odvzete iz stavbe, raba končne energije pa je povezana z rabo električne energije za pogon kompresorja hladilne naprave.

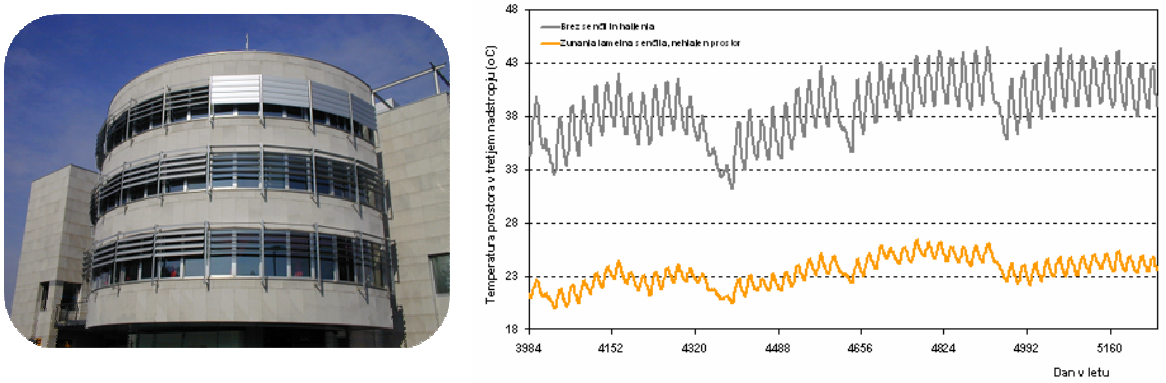
1.3 Principi varčevanja z energijo

Rabo energije za hlajenje stavb lahko zmanjšamo z upoštevanjem petih načel, ki so predstavljeni na sliki 1.10. To so nadzor sončnega sevanja, zmanjšanje toplotnih dobitkov skozi netransparentni ovoj stavbe, intenzivno nočno prezračevanje, zmanjšanje notranjih toplotnih dobitkov in uporaba naravnega hlajenja (free-cooling).



Slika 1.10 *Načela varčevanja z energijo pri hlajenju stavb. Vir [McQuiston et al., 2005]*

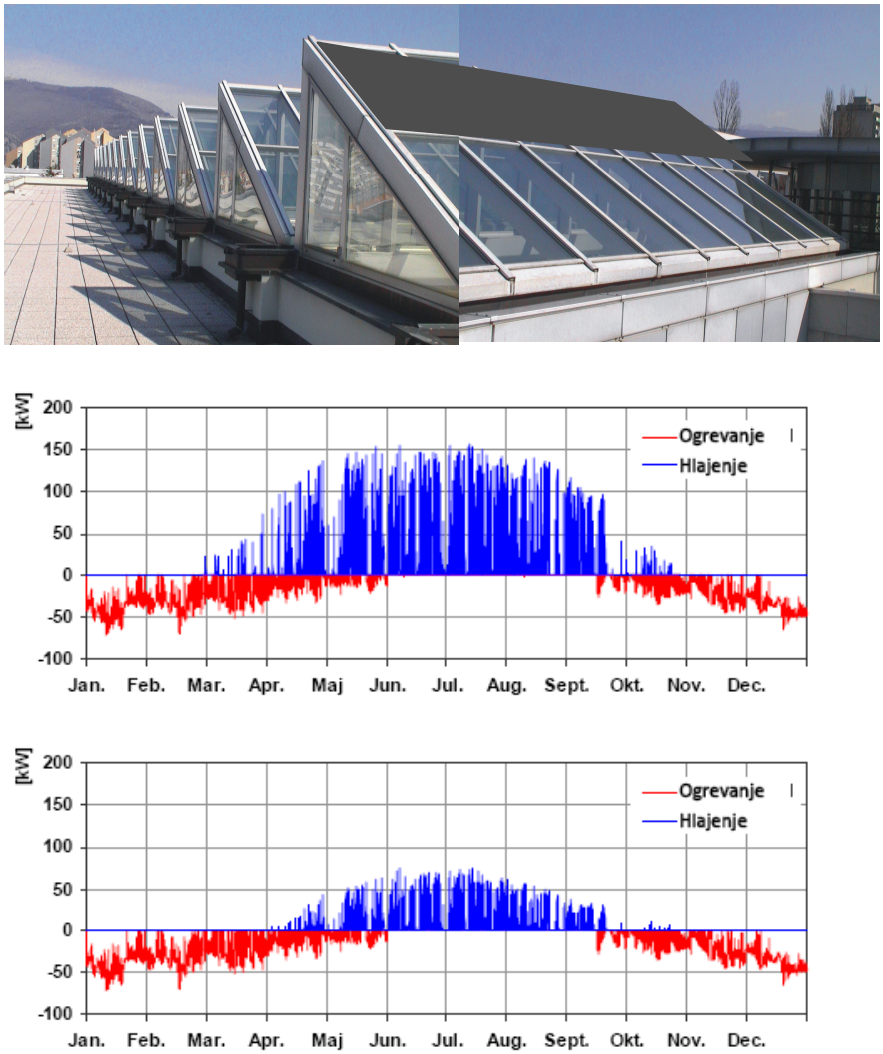
Senčila morajo biti zunanja, visoko odbojna za sončno sevanje in nameščena tako da omogočajo tako konvektivno hlajenje kot tudi osvetlitev prostorov. Slika 1.11 prikazuje spreminjanje temperatur v nehlajeni pisarni poslovnega objekta brez senčil ter v sosednji pisarni z zunanjimi senčili; senčila so nameščena na tak način, da omogočajo konvektivno hlajenje na obeh straneh senčil in so premična. Tako je mogoče spreminjanje faktorja senčenja Sf preko celega dneva ter s tem optimalna osvetlitev pisarne.



Slika 1.11 *Samo z zunanjimi, visoko odbojnimi in premičnimi senčili lahko uspešno zmanjšamo toplotne dobitke s sončnim sevanjem (levo); temperatura v nehlajeni pisarni brez senčil (siva črta) ter temperatura v nehlajeni pisarni s senčili, ki so prikazana na sliki levo(oranžna črta).*

Senčila so lahko večnamenska. Kot senčila lahko uporabimo na primer PV module, kot prikazuje spodnji primer. PV moduli so nameščeni na delu steklene strehe atrija poslovne stavbe. Po namestitvi modulov se vršna hladilna moči zmanjša iz 150 kW na 75 kW, med tem ko se potrebna

toplota za ogrevanje stavbe praktično ne spremeni. V tem konkretnem primeru imajo PV senčila tudi zelo majhen vpliv na osvetlitev prostorov.



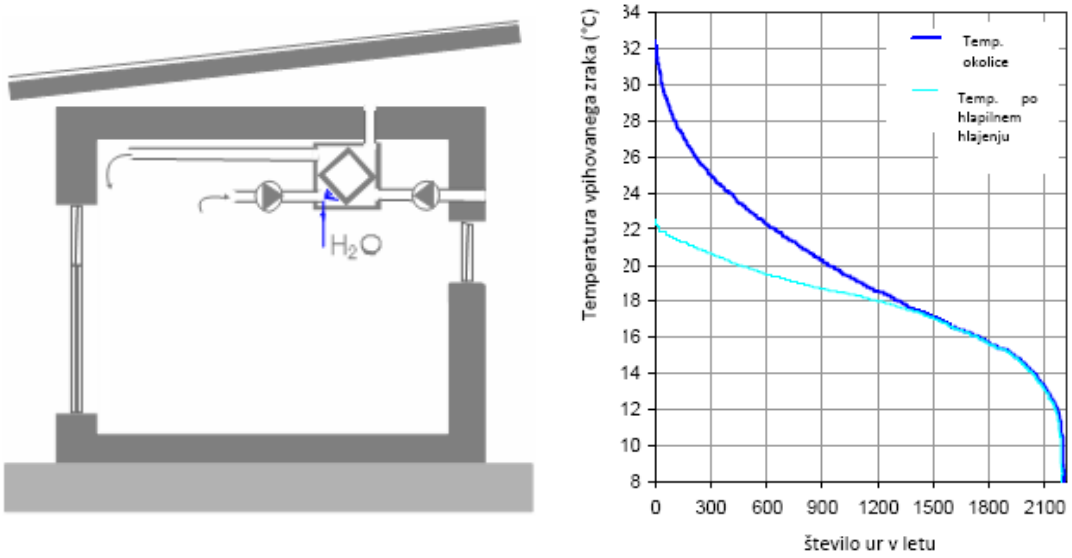
Slika 1.12 *PV moduli kot zunanja senčila stekleni strehi atrija poslovne stavbe zmanjšajo hladilno obremenitev za 50% med tem ko se raba toplote za ogrevanje in dnevna osvetlitev praktično ne spremenita (levo: raba energije za ogrevanje in hlajenje brez PV modulov, desno: po tem, ko so bili vgrajeni PV moduli)*

Toplotne dobitke preko netransparentnega ovoja stavbe lahko zmanjšajo z uporabo svetlejših odtenkov fasadnih barv in kvalitetno toplotno izolacijo v kombinaciji z sposobnostjo konstrukcije za akumulacijo toplote. Kombinacija teh ukrepov pomeni bistveno zmanjšanje amplitude temperature na notranji strani konstrukcije, toplotni tok pa prehaja v stavbo z nekaj urnim časovnim zamikom. Moderna arhitektura velikokrat zahteva temne odtenke barve streh in fasad. V tem primeru lahko uporabimo selektivne barve s katerimi zmanjšamo površinske temperature in s tem tudi hladilne obremenitve. Te barve imajo enako odbojnost svetlobe kot običajne barve torej enak barvni odtenek, imajo pa povečano odbojnost bližnjega IR sevanja. To omogoča zmanjšanje temperature temne površine ob sončnem poldnevu za 20° ali več °C. Še učinkovitejše so ozelenele strehe in zidovi. Evaportranspiracija trave in rastlin povzroči zmanjšanje hladilnih obremenitev za 5 do 10 krat glede na klasično temno streho.

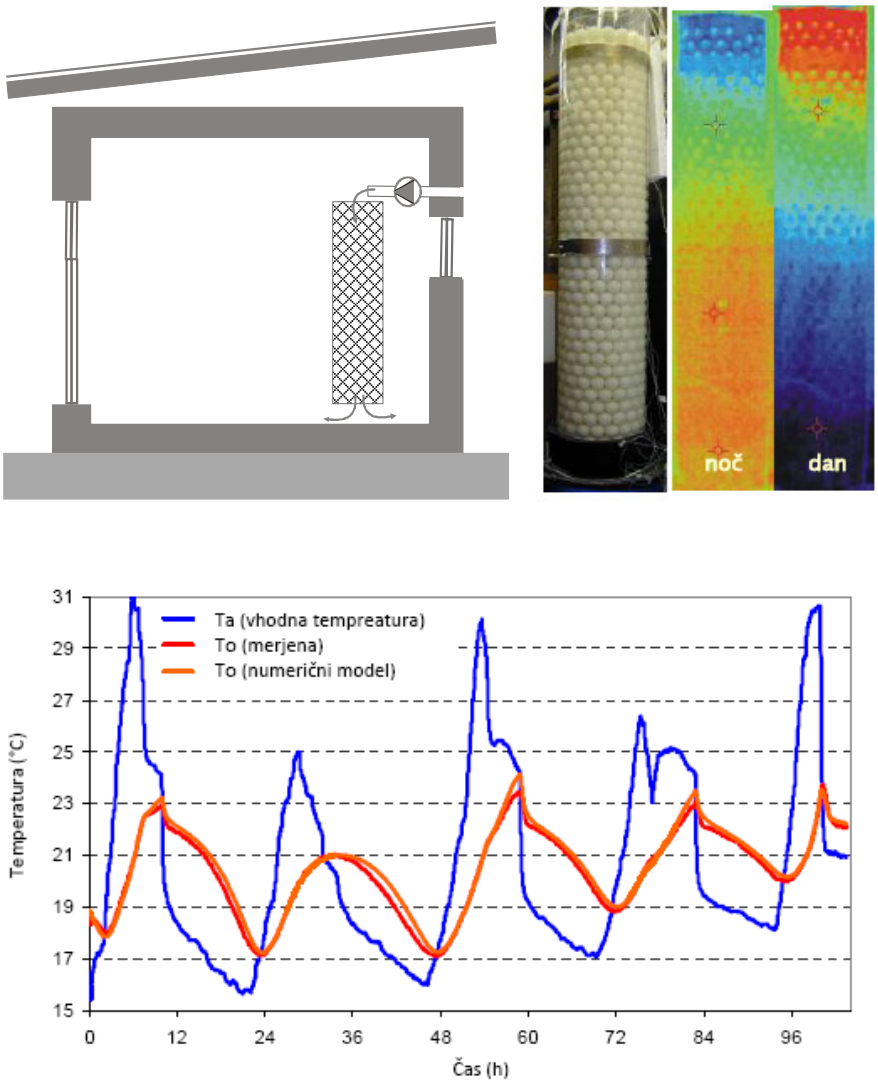


Slika 1.13 *Dodaten nanos bele selektivne barve (levo) nanesen pod zelen premaz (desno) zmanjša maksimalno temperaturo zidu ob sončnem poldnevu za 15°C*

Nočno prezračevanje je lahko učinkovit ukrep za znatno zmanjšanje hladilne obremenitve stavbe, a le v primeru če zagotovimo nočno prezračevanje z vsaj 4 do 5 izmenjavami zraka v stavbi na uro. Po drugi strani lahko prezračevalni sistem nadgradimo s tehnologijami naravnega hlajenja kot je na primer hlapilno hlajenje. Hlapilno hlajenje je najbolj učinkovito v suhih in vročih klimatskih področjih. Z njim lahko občutno zmanjšamo hladilno moč in s tem maksimalno potrebno moč ter energijo za kompresorsko hlajenje. COP_{el} takih sistemov je 50 ali več.



Slika 1.14 *Hlapilno hlajenje je najbolj učinkovito pri visokih temperaturah okolice okrog sončnega poldneva; diagram prikazuje trajanje temperatur okoliškega (temo modra krivulja) in svežega zraka, ki ga dovajamo v stavbo po hlapilnem hlajenju (svetlo modra krivulja); hlapilno hlajenje lahko pomembno prispeva k zmanjšanju potrebne hladilne moči in električne moči, ki je potrebna za kompresorsko hlajenje. Vir: [Vidrih, Medved, 2006]*



Slika 1.15 *Latentni hranilnik toplote, integriran v prezračevalni sistem se preko noči ohladi in zagotavlja nižjo temperaturo dovedenega svežega zraka v naslednjem dnevu; tak sistem lahko združimo z drugim sistemom naravnega hlajenja, da zagotovimo naravno hlajenje preko celega dneva. Vir: [Arkar, Medved, 2007]*

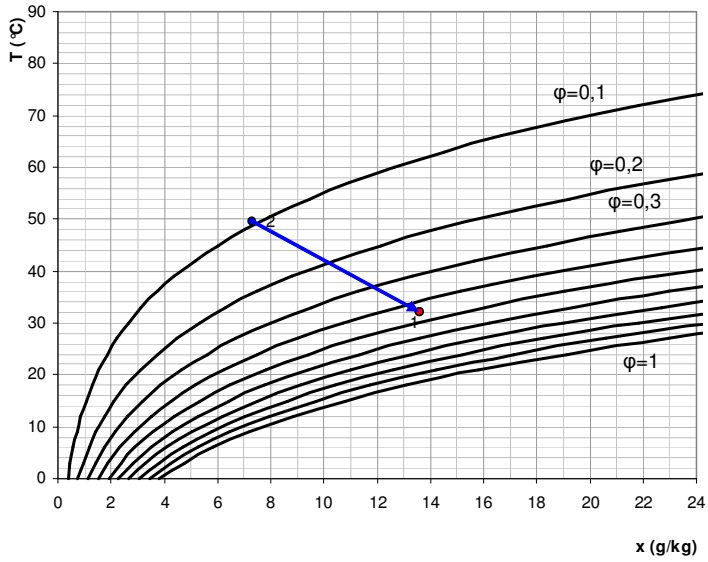
Sistem mehanskega prezračevanja lahko povežemo z zemeljskim prenosnikom toplote v katerem se zrak v podnevi v poletnem času pred vstopom v stavbo ohladi. Ta sistem se večinoma uporablja v manjših stavbah in mora biti zelo skrbno zasnovan, če želimo doseči visok COP_{el}. Mehanski prezračevalni sistem lahko nadgradimo tudi z hranilnikom hladu. Posebej učinkoviti so latentni hranilniki, ki jih hladimo preko noči, podnevi pa z njimi hladimo sveži zrak. Taki sistemi so dražji in so še v fazi razvoja.

Kljub temu, da so tehnologije naravnega hlajenja učinkovite in lahko precej zmanjšajo rabo energije za hlajenje, vedno ne zagotavljajo, da bodo pogoji bivalnega ugodja v stavbi izpolnjeni. V takih primerih moramo uporabiti druge energijsko učinkovite tehnologije hlajenja na primer **solarno hlajenje.**

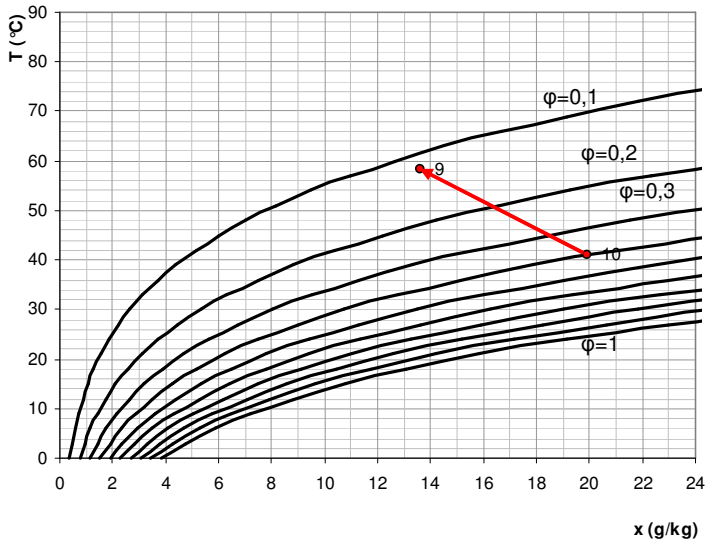
1.4 Osnove solarnega hlajenja

1.4.1 Načela sušilno-hlapilnega solarnega hlajenja

Zrak je zmes različnih plinov in vodne pare. Sprememba stanja zraka je lahko posledica senzibilnega prenosa toplote pri ogrevanju ali hlajenju in prenosa latentne toplote pri vlaženju ali razvlaževanju. Zato stanje zraka opredeljujemo z notranjo energijo, ki jo imenujemo entalpija (h) in ne s temperaturo. Spremembe stanja zraka lahko prikažemo v T-x diagramu, torej s temperaturo in absolutno vlažnostjo. Med navlaževanjem zraka se razpršene kapljice vode v zraku pretvorijo v molekule vodne pare s pomočjo notranje energije zraka. Posledično se zrak ohladi. Ta način naravnega hlajenja je zelo učinkovit, kljub temu, da je stranski učinek povečana vlažnost zraka kar ni ugodno s stališča zagotavljanja toplotnega ugodja.



Slika 1.16 *Proces hlapilnega hlajenja poteka ob konstantni entalpiji. Temperatura zraka se zmanjša, istočasno pa se povečata absolutna (x) in relativna vlažnost (φ) zraka.*



Slika 1.17 *Proces sorpcijskega sušenja (10 -> 9) prav tako poteka pri konstantni entalpiji zraka. Temperatura zraka se pri sušenju poveča, med tem ko se absolutna (x) in relativna vlažnost (φ) zraka zmanjšata.*

Pri konvencionalnih oz. mehanskih hladilnih sistemih se zrak razvlažuje z ohlajanjem pod točko rosišča. Druga možnost za sušenje zraka je uporaba posebnih snovi, ki odstranjujejo molekule vodne pare iz zraka s sorpcijo. Taki snovi sta silika-gel in litijev klorid. Prva snov je v trdnem ag.

stanju, druga v tekočem. Litijev klorid se uporablja tudi tako, da ga vnesemo v trdne strukture, torej v obliki »trdnega« sorpcijskega sredstva. Stranski učinek procesa sorpcijskega navlaževanja je zvišana temperatura zraka in navlažitev sorpcijske snovi. Vendar se pri segrevanju sorpcijske snovi na temperaturo 60 do 70°C vodna para izloči (desorbira) iz sorpcijske snovi in proces lahko ponovimo. Ta proces imenujemo regeneracija sorpcijske snovi. Pri solarnih sušilno-hlapilnih hladilnih sistemih se potrebna ta regeneracijo pridobi s solarnim sistemom.
Pri sistemih solarnega hlajenja združimo proces hlapilnega hlajenja in sorpcijskega razvlaževanja z rekuperatorjem toplote v **sušilno-hlapilni hladilni proces**, ki je podrobno opisani v drugem poglavju.

1.4.2 Načela sorpcijskega solarnega hlajenja

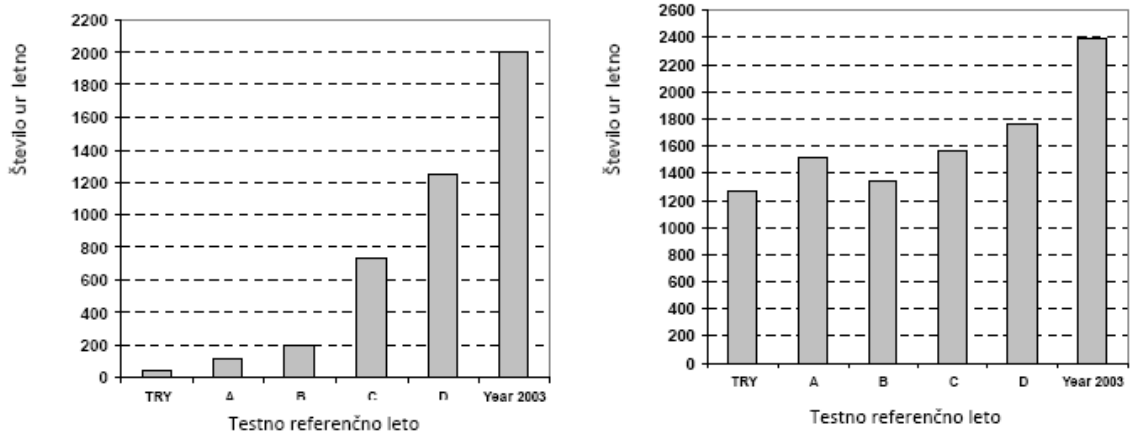
Konvencionalni hladilni sistemi uporabljajo za stiskanje pare hladiva kompresor. Sorpcijski hladilni procesi potekajo na podoben način, vendar kompresor, ki za delovanje porablja električno energijo, nadomestimo z obtočno črpalko. Ta omogoča pretakanje binarnih zmesi hladiva in snovi, ki absorbira hladivo in jo imenujemo absorbent. V praksi uporabljamo mešanico vode (hladivo) in litijevega bromida (absorbent) ali pa amoniak (hladivo) in vodo (absorbent). Poraba električne energije za pogon črpalk je zanemarljiva v primerjavi s porabo električne energije za pogon kompresorja v konvencionalnem hladilnem sistemu. Za delovanje sorpcijskega hladilnega sistema potrebujemo tudi toploto na višjem temperaturnem nivoju, ki se lahko proizvaja z visoko učinkovitimi selektivnimi ali vakuumskimi sprejemniki sončne energije v solarnem ogrevalnem sistemu.
Alternativa absorbcijskemu procesu je **adsorpcijski** proces, pri katerem adsorber, torej snov v trdnem agregatnem stanju adsorbira hladivo. Uporabljajo se silikagel ali zeoliti.
Ker je končni proizvod ab- ali adsorpcijskega solarnega hlajenja ohlajena voda s temperaturo 7 do 10°C lahko uporabimo različne, tudi konvencionalne hladilne sisteme. Podrobnosti o sorpcijskem hlajenju so navedene v 2. poglavju.

1.5 Vpliv podnebnih sprememb na toplotno ugodje in rabo energije za hlajenje stavb

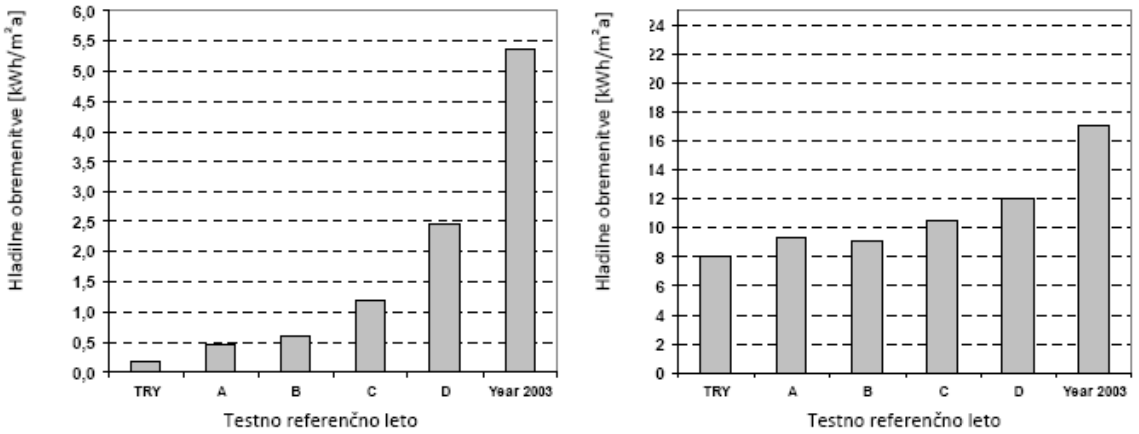
Predvidene podnebne spremembe zaradi antropogenih emisij toplogrednih plinov bodo povzročile povišanje povprečnih temperatur v atmosferi in atmosferskega IR sevanja. Zaradi tega bodo imele podnebne spremembe velik vpliv na toplotno ugodje v stavbah v poletnem času in tako tudi na rabo energije za hlajenje stavb. Na osnovi simulacij porabe energije v energijsko varčni stanovanjski in poslovni stavbi (slika 1.18), ki ju ne hladimo lahko napovemo, da se bo število ur v letu ko pride do pregrevanja v prihodnosti močno povečalo (slika 1.19). V primeru hlajenja stavb pa se bo poraba energije za hlajenje povečala za 10 krat (seveda odvisno od lokacije in lastnosti stavbe). Pričakujemo, da se bo raba energije za hlajenje povečala za 3 do 5 kWh/m^2 površine stavb. Pogoji bodo podobni kot so bili v letu 2003. Ker bodo temperature zraka višje tudi v nočnem času, bodo sistemi naravnega hlajenja manj učinkoviti.



Slika 1.18 *Energijsko varčni stanovanjska in poslovna stavba, ki smo ju obravnavali v simulacijah posledic klimatskih sprememb.*



Slika 1.19 *Povečanje števila ur pregrevanja (Ti > 26°C) v stanovanjski hiši (levo) in poslovni (desno) stavbi pri različnih podnebnih scenarijih - Scenarij A (+1°C), Scenarij B (+1°C, +3 W/m^2), Scenarij C (+3°C), Scenarij D (+3°C, +6 W/m^2) Vir: [Vidrih, Medved, 2006]*



Slika 1.20 *Spremenjena specifična poraba energije za hlajenje stanovanjske (levo) in poslovne stavbe (desno) v kWh na m2 površine stavbe na leto*

Ob upoštevanju predstavljenih rezultatov lahko pričakujemo, da bo v prihodnosti hlajenih vedno več stavb, verjetno kar vse novogradnje. To daje solarnemu hlajenju velik pomen in možnosti za tržno uveljavitev.

Reference

[EN ISO 7730, 2005]
Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal criteria.

[EN 15251, 2007]
Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.

[McQuiston et al., 2005]
F. McQuiston, J. Parker, J. Spitler: "Heating, Ventilating, and Air Conditioning, Analysis and Design"; Jonn Wiley&Sons, Inc, 2005

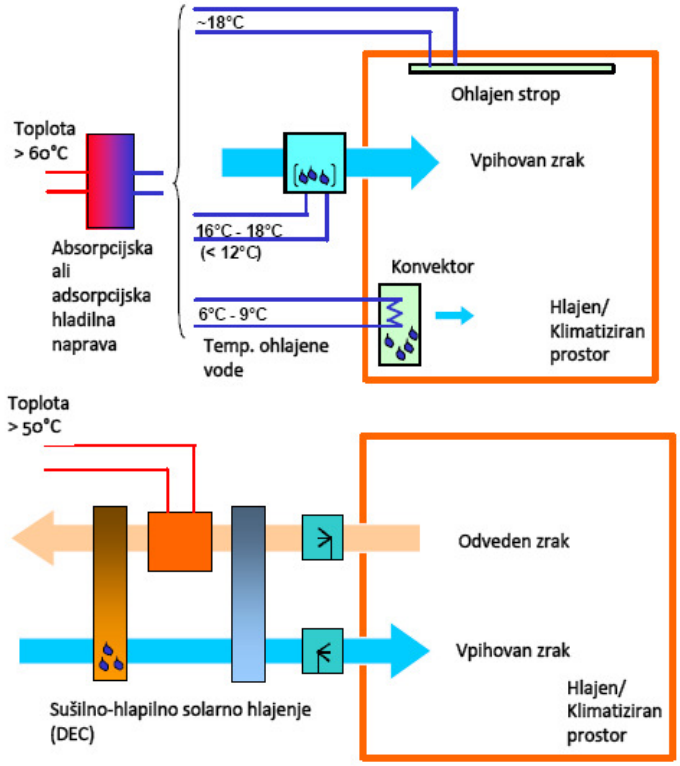
[Vidrih, Medved, 2006]
B. Vidrih, S. Medved: "The Connection Between the Climate Change Model and a Buildings Thermal Response Model: A Case of Slovenia", Journal of Mechanical Engineering, vol. 52, no. 9/06, Ljubljana, 2006

[Arkar, Medved, 2007]
C. Arkar, S. Medved; "Free cooling of a building using PCM heat storage integrated into the ventilation system", Solar Energy, vol. 81, no 9, Elsevier Press, 2007

2 Tehnologije primerne za hlajenje s solarno toploto

Projekt SOLAIR obravnava solarne hladilne in klimatizacijske sisteme majhnih in srednjih moči. Delitev temelji na tržno dosegljivih hladilnih sistemih. Za majhne sisteme veljajo tisti z nazivno hladilno močjo do 20 kW, srednje veliki sistemi pa imajo nazivno hladilno moč do 100 kW.

Manjši sistemi ponavadi uporabljajo sorpcijske hladilne naprave, srednje veliki sistemi pa uporabljajo tudi sušilno-hlapilno hlajenje (angl. Desicant evaporative cooling - DEC). V prvem primeru je medij odvoda toplote iz stavbe ohlajena voda, ki se po cevnem sistemu dovaja končnim porabnikom stavbi, v drugem pa je hladilni medij ohlajen zrak, ki mu pred vstopom v prostore uravnavamo temperaturo in vlažnost. Na sliki 2.1 sta prikazana dva najpogostejša primera solarnih hladilnih sistemov. Seveda so možne tudi kombinacije z istočasno uporabo obeh tehnologij. Pri sistemih z ohlajeno vodo lahko s centralnim omrežjem za razvod ohlajene vode dovajamo hlad decentraliziranim hladilnim enotam, kot so na primer konvektorji (ti običajno omogočajo tudi razvlaževanje), hladilnim stropovom, zidovom ali tlem. Ohlajeno vodo lahko uporabimo tudi za hlajenje svežega zraka v centralni klimatizacijski napravi. Potrebna temperatura hladne vode je odvisna od izvedbe hlajenja in je pomembna pri zasnovi sistema. Ker projekt SOLAIR ni osredotočen na same naprave za distribucijo hladu, te niso podrobneje predstavljene.



Slika 2.1 *Najpogostejši izvedbi sistemov solarnega hlajenja. V sistemu na zgornji sliki ohlajeno vodo pripravljamo v zaprtem sistemu za različne decentralizirane naprave ali za hlajenje svežega zraka za prezračevanje stavbe. Na spodnji sliki pa je prikazan sistem s katerim svež zrak hladimo in razvlažujemo v odprtem procesu pred vpihom v prostore. Vir: Fraunhofer ISE. Podrobno sta sistema opisana v nadaljevanju. Pri obeh tehnologijah potrebujemo za delovanje toploto. Pri aplikacijah, ki jih obravnava projekt SOLAIR se znatni del toplote zagotavlja s solarnim ogrevalnim sistemom.*

Iz slike 2.2 je razvidno da solarni hladilni sistem deluje na treh temperaturnih nivojih: grelno toploto Q_{heat} dovajamo v proces na temperaturnem nivoju T_H, odvajamo pa toploto na hladilni strani Q_{cold} pri temperaturi T_C. Obe količini toplote odvedemo v okolico pri temperaturi T_M. Grelno toploto Q_{heat} lahko zagotovimo s primernim solarnim ogrevalnim sistemom s sprejemniki sončne energije; ta sistem lahko deluje samostojno ali pa z dodatnim virom toplote.

Med tem ko je pri sušilno-hlapilnem hladilnem sistemu odvod toplote vključen v proces termodinamične obdelave zraka, pri sorpcijskih hladilnih sistemih za hlajenje vode potrebujemo dodaten podsistem za odvod toplote iz procesa v okolico, kot na primer hladilni stolp. Izbira podsistema za odvod toplote v okolico je zelo pomembna, saj ta sistem v veliki meri vpliva na lastno rabo energije solarnega hladilnega sistema.

Osnovni kazalnik s katerim ovrednotimo učinkovitost hladilnega procesa je hladilno število ali COP (coeficient of performance), definirano kot

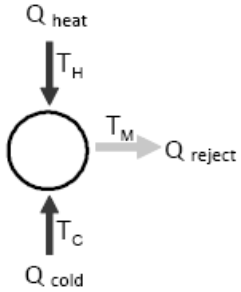
$$COP = \frac{Q_{hlad}}{Q_{toplota}},$$

Hladilno število navaja koliko grelne toplote potrebujemo na enoto proizvedenega hladu oziroma bolj natančno na enoto odvedene toplote. Hladilno število in hladilna moč sta odvisna od temperaturnih nivojev T_H, T_C in T_M. Pri sušilno hlapilnih hladilnih sistemih je učinkovitost delovanja težje ovrednotiti, ker se med delovanjem sistema stalno spreminja. V tem primeru je smiselno opredeliti učinek le za sušilni proces, saj je za ta proces potrebna toplota (poglavje 2.2). Izračunamo ga z upoštevanjem razlike entalpij zraka v okolici in vpihovanega zraka ter potrebne dovedene toplote. Izkušnje z delovanjem sistemov kažejo, da lahko dosežemo vrednosti primerljive z enostopenjskimi absorpcijskimi napravami.

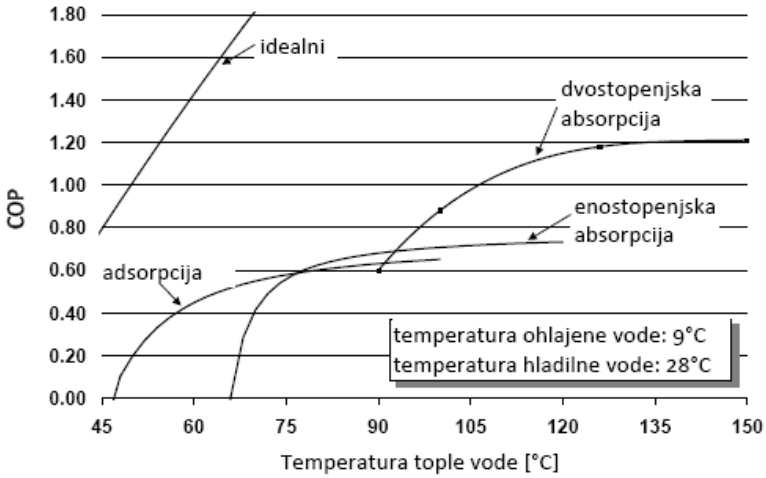
Za sisteme, ki proizvajajo ohlajeno vodo lahko izraz za največje hladilno število procesa COP_{ideal} z upoštevanjem posameznih temperaturnih nivojev izpeljemo s pomočjo zakonov termodinamike:

$$COP_{ideal} = \frac{T_C}{T_H} \cdot \frac{T_H - T_M}{T_M - T_C}.$$

Ta izraz je podrobneje predstavljen v delu [Henning, 2006]. Kot je razvidno iz slike 2.3, je največje hladilno število povračljivega procesa veliko večje od hladilnih števil realnih toplotno gnanih hladilnih sistemov. Hladilno število tržno dosegljivih naprav je med 0,5 in 0,8 pri enostopenjskih sorpcijskih napravah (absorpcija ali adsorpcija), pri dvostopenjskih napravah pa do 1,4.



Slika 2.2 *Osnovna shema toplotno gnanega hladilnega procesa.*

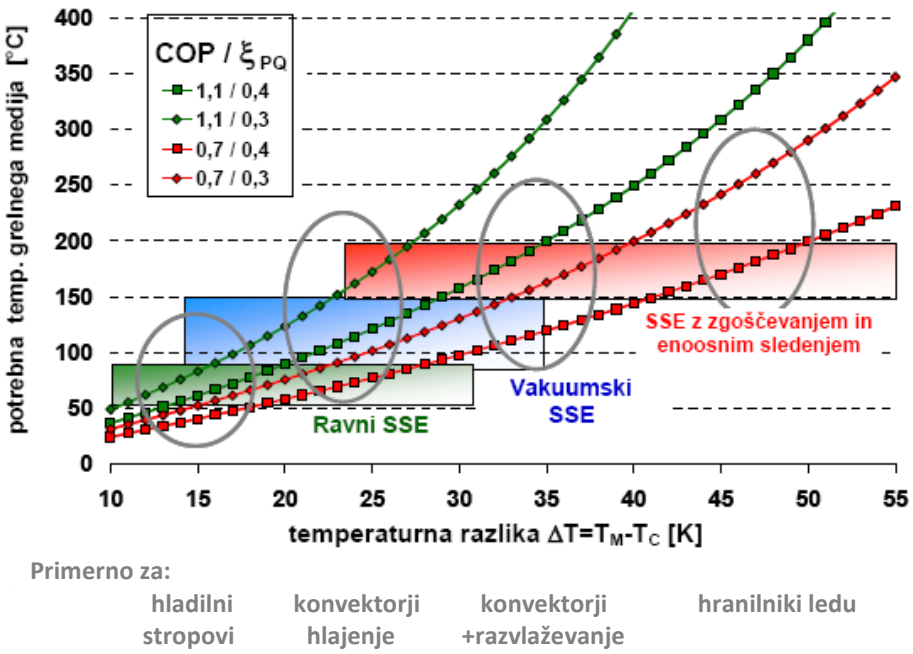


Slika 2.3 *Krivulje hladilnih števil COP za različne sorpcijske hladilne sisteme in mejna krivulja idealnega sorpcijskega hladilnega procesa. Krivulje so prikazane kot funkcija temperature vode Tt in pri konstantni temperaturi ohlajene Th in hladilne vode Tm. Vir: [Henning, Wiemken, 2006]*

Razlika med realnim in idealnim hladilnim številom solarnih hladilnih sistemov se navaja z razmerjem hladilnih števil ζ_{PQ}:

$\zeta_{PQ} = COP_{real} / COP_{ideal}$.

Tipične vrednosti ζ_{PQ} tržno dosegljivih sistemov so okrog 0,3. S pomočjo učinkovitosti lahko ocenimo možnosti za izboljšanje procesa glede na potrebno temperaturo grelnega medija T_H. Primer prikazuje slika 2.4. Na sliki sta COP in ζ_{PQ} prikazana v odvisnosti od temperature grelnega medija T_H in temperaturne razlike ΔT med temperaturo ponora toplote T_M in temperaturo ohlajene vode T_C : $\Delta T = (T_M - T_C)$. Na primer, temperaturna razlika ΔT je majhna v primeru visoke temperature ohlajene vode in mokrega odvoda toplote v okolico (nizka temperatura hladilne vode), v primeru zahtevane nizke temperature ohlajene vode in suhega odvoda toplote pa je temperaturna razlika visoka. Prikazane so temperature gonilnega medija za dve vrednosti COP. Za vsako krivuljo hladilnega števila velja, da je temperatura grelnega medija odvisna tudi kvalitete procesa; zaradi tega sta predpostavljeni dve različni razmerji hladilnih števil ζ_{PQ}. Prikazana so tudi temperaturna območja delovanja različnih sprejemnikov sončne energije (SSE). Tako na primer enostopenjska hladilna naprava, ki ima COP 0,7 pri razliki v temperaturi hladilne in ohlajene vode ΔT = 35 K ter potrebni temperaturi grelnega medija okrog 100 °C, lahko deluje s solarnim ogrevalnim sistemom z vakuumskimi SSE (razmerje hladilnih števil je 0,4). V primeru nižje učinkovitosti hladilnega procesa je potrebna temperatura grelnega medija višja in moramo uporabiti SSE z zrcali za zgoščevanje sončnega sevanja, ki sledijo soncu.



Slika 2.4 *Temperature grelnega medija in ustrezno razmerje* COP/ζ_{PQ} *v odvisnosti od razlike v temperaturi hladilne in ohlajene vode. Prikazane so tudi tipična delovna območja različnih tehnologij SSE. Vir: [Hennng, 2006].*

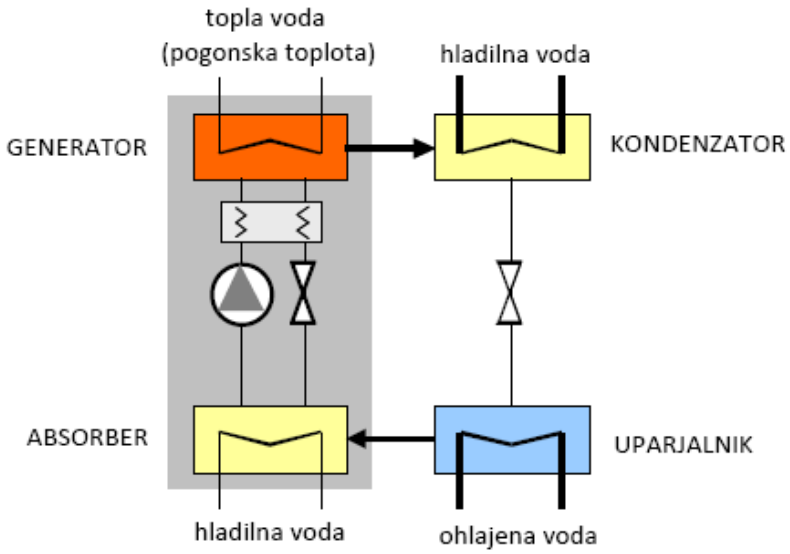
2.1 Solarni hladilni sistemi z ohlajeno vodo

Absorpcijske hladilne naprave

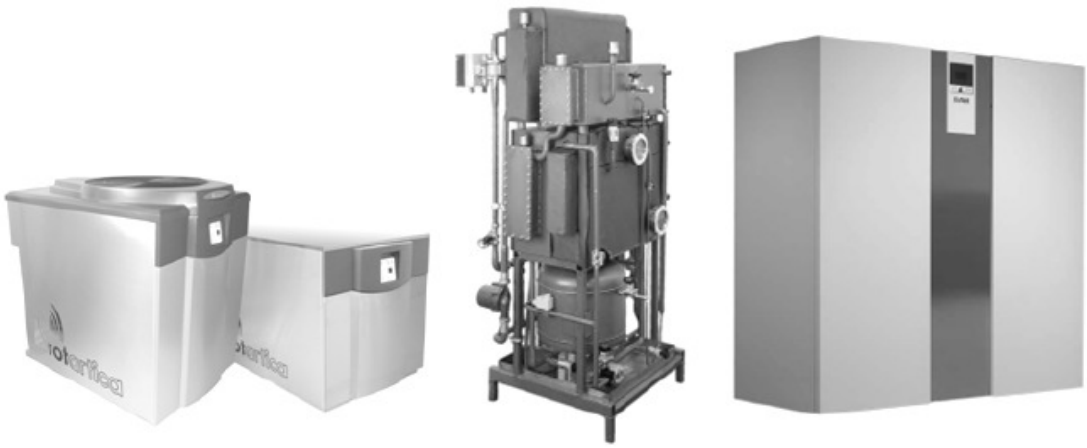
Najbolj razširjena tehnologija solarnih hladilnih sistemov so absorpcijske naprave. Osnovni fizikalni proces absorpcije poteka med dvema snovema, pri čemer ena nastopa kot hladivo, druga pa kot sorbent. Glavni sestavni deli absorpcijske hladilne naprave so prikazani na sliki 2.5. Proces absorpcijskega hlajenja je podrobno opisan v številnih virih npr. [ASHRAE, 1988], zato tu ne bo podrobneje predstavljen.

Večina absorpcijskih hladilnih naprav uporablja vodo kot hladivo in tekoči litijev bromid kot sorbent. Tipične hladilne moči teh naprav so do nekaj 100 kW. Kot vir toplote se večinoma uporablja odpadna toplota iz drugih procesov, toplota iz daljinskih ogrevalnih sistemov ali odpadno toploto iz kogeneracijskih sistemov. Potrebna temperatura grelnega medija je običajno nad 85°C, tipično hladilno število COP pa je med 0,6 in 0,8. Do pred nedavno je bila najmanjša dobavljiva naprava hladilne moči 35 kW Japonskega proizvajalca Yazaki .

V zadnjem času se stanje na trgu spreminja, saj se v segmentu majhnih in srednje velikih hladilnih naprav pojavlja veliko novih izdelkov. Večinoma so zasnovani tako, da za delovanje potrebujejo nižje temperature grelne toplote, ki jo lahko zagotovimo z ravnimi ali vakuumskimi sprejemniki sončne energije. Najmanjši dobavljiv sistem ima hladilno moč 4,5 kW. Na sliki 2.6 je prikazanih nekaj naprav majhnih in srednjih moči. Poleg običajnega delovnega para H_2O/LiBr se uporabljata tudi H_2O/LiCl in NH_3/H_2O. Uporaba slednjega v katerem amoniak nastopa kot hladivo je za hlajenje stavb relativno nova, saj je bila ta tehnologija večinoma v uporabi za hlajenje večjih moči na temperaturo pod 0°C v industriji. Prednost te tehnologije je predvsem pri aplikacijah, kjer je temperatura odvoda toplote T_M visoka, na primer v področjih s pomanjkanjem vode, kjer je potrebno izvesti odvod toplote v okolico z suhim hladilnim stolpom pri visoki temperaturi okolice.



Slika 2.5 *Shema absorpcijske hladilne naprave. V primerjavi z običajnimi kompresorskimi hladilnimi napravami je pri absorpcijskih hladilnih napravah namesto mehanskega uporabljen »toplotni kompresor« z absorberjem in generatorjem. Ohlajena voda se hladi z uparjanjem hladiva (npr. vode) v uparjalniku pri nizkem tlaku. Zaradi prenosa toplote pri spremembi agregatnega stanja se prenese velik toplotni tok. Pare hladiva se absorbirajo v absorber pri čemer se bogati raztopina hladiva in sorbenta. Da proces absorpcije poteka, je potrebno hlajenje sorbenta. Raztopina se iz absorberja črpa v generator, v katerem se raztopina regenerira, ločita se hladivo in sorbent za kar potrebujemo toploto, ki jo proizvede solarni ogrevalni sistem. Hladivo gre iz generatorja v kondenzator, ki ga hladimo zato hladivo kondenzira in se preko ekspanzijskega ventila vrne v uparjalnik. S tem je krog sklenjen.*



Slika 2.6a *Primeri majhnih absorpcijskih hladilnih naprav, ki uporabljajo vodo kot hladivo in litijev bromid kot sorpcijsko sredstvo. Levo: Naprava zmogljivosti 4,5 kW španskega proizvajalca Rotartica. V sredini: 10 kW hladilna naprava z visoko učinkovitostjo pri delni obremenitvi in visokim hladilnim številom nemškega proizvajalca Sonnenklima. Desno: Hladilna naprava zmogljivosti 15 kW, ki jo izdeluje nemško podjetje EAW; ta naprava je na voljo z različnimi močmi: 30 kW, 54 kW, 80 kW in več. Viri: Rotartica, Sonnenklima, EAW.*



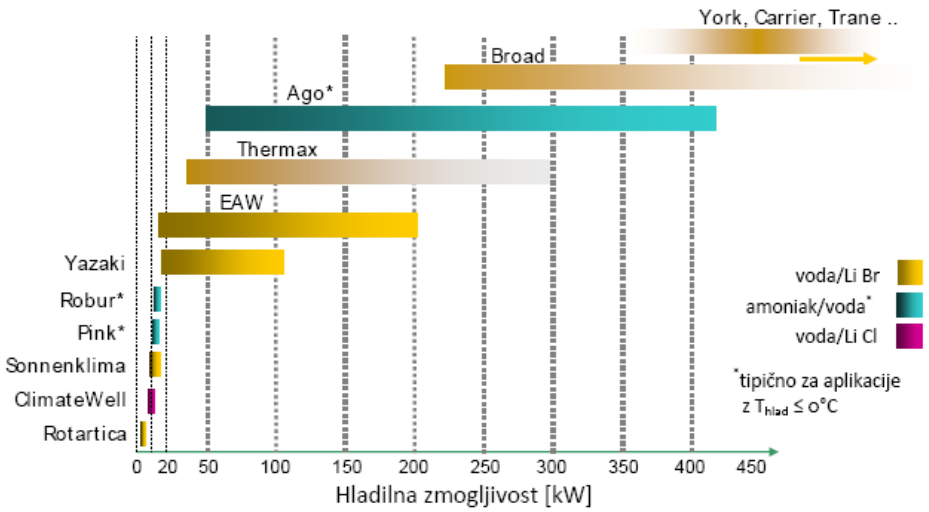
Slika 2.6b *Primera absorpcijskih hladilnih naprav. Levo: Absorpcijska hladilna naprava z delovnim parom H_2O/LiBr in zmogljivostjo 35 kW podjetja Yazaki, Japonska. Ta hladilna naprava je v delujočih solarnih hladilnih sistemih najbolj razširjena. saj je bila dolgo najmanjša naprava na evropskem trgu. Sedaj je na voljo tudi manjša naprava istega proizvajalca s hladilno močjo 17,5 kW. Vir: Gasklima. Desno: Naprava v kateri je voda uporabljena kot hladivo in litijev klorid kot sorbent. Uporablja tudi kristalizacijsko fazo sorbenta, kar omogoča shranjevanje energije. Zmogljivost naprave je približno 10 kW; napravo proizvaja ClimateWell, Švedska, in lahko deluje tudi kot toplotna črpalka. Vir: ClimateWell*



Slika 2.6c *Primera absorpcijskih hladilnih naprav z delovnim parom amoniak-voda. Najpogosteje se ta vrsta hladilnih naprav uporablja za hlajenje pri temperaturah < 0°C, vendar se lahko uporablja tudi za višje temperaturne nivoje ohlajene vode. Levo: Hladilna naprava (par amoniak-voda) s hladilno močjo 12 kW avstrijskega proizvajalca Pink, Desno: Absorpcijska hladilna naprava podjetja Ago, Nemčija. Ta naprava je na voljo s hladilnimi močmi od 50 kW navzgor. Vir: Pink/SolarNext.*

Na sliki 2.7 so prikazane izbrane trenutno dobavljive absorpcijske hladilne naprave, razvrščene po hladilnih zmogljivostih.

Dvostopenjske hladilne naprave, torej z dvema generatorjema potrebujejo za delovanje višje temperature grelnega medija (> 140°C), vendar imajo višji COP > 1,0. Najmanjša hladilna naprava tega tipa ima hladilno moč 170 kW. Glede na potrebne visoke temperature vira toplote moramo v teh sistemih uporabiti SSE z zrcali za zgoščevanje sončnega sevanja. Primerni so za področja z visokim indeksom jasnosti oziroma visokim deležem direktnega sončnega obsevanja.

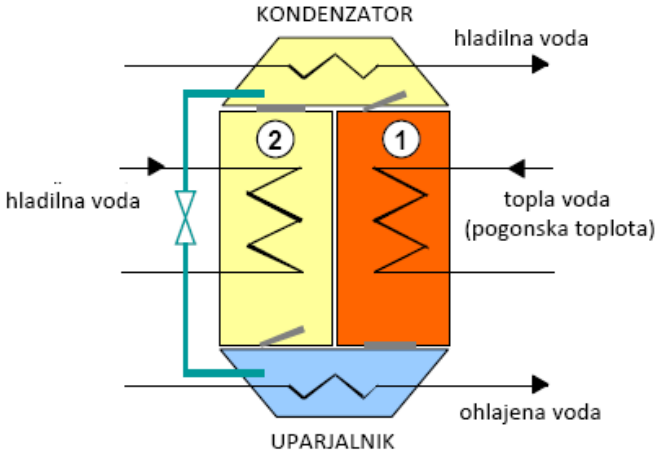


Slika 2.7 *Značilne hladilne moči absorpcijskih solarnih hladilnih sistemov. Navedeni izdelki so dosegljivi na trgu, bodisi v nizkoserijski proizvodnji ali izdelavi po naročilu. Seznam ponudnikov je sicer širši.*

Adsorpcijske hladilne naprave

Poleg naprav, ki uporabljajo tekoči sorbent, obstajajo tudi naprave s trdno sorpcijsko snovjo. Ta snov a**d**sorbira hladivo, ki se izloči ko snov segrejemo. Da dosežemo pogojno neprekinjeno delovanje potrebujemo najmanj dve ločeni posodi s sorpcijsko snovjo. Na sliki 2.8 so shematsko prikazane komponente adsorpcijske hladilne naprave. Večina sistemov na trgu uporablja vodo kot hladivo in silikagel kot sorbent. Raziskave in razvoj so usmerjene v sisteme, ki kot sorbent uporabljajo zeolite.

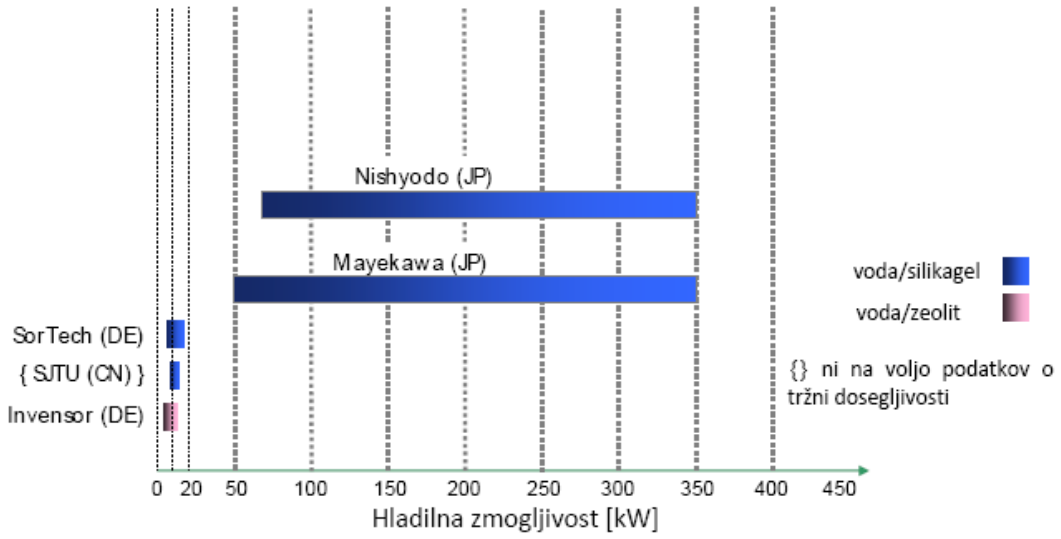
Trenutno je dobavljivih le nekaj adsorpcijskih naprav proizvajalcev iz Japonske, Kitajske in Nemčije. Od leta 2007 je na trgu naprava nemškega podjetja z zmogljivostjo 5,5 kW, novejša verzija (model 2008) pa ima hladilno moč 7,5 kW. Tipične vrednosti hladilnega števila COP za adsorpcijske naprave so med 0,5 in 0,6. Njihove prednosti pred absorpcijskimi napravami pa so nižje potrebne temperature grelnega medija (~60°C), ne potrebujejo črpalke za raztopino hladiva, kar pomeni, da so te naprave manj hrupne. Slika 2.9 prikazuje primere adsorpcijskih naprav, slika 2.10 pa trenutno tržno dosegljive naprave, razvrščene po hladilni moči. Poleg navedenih so na trgu tudi drugi izdelki. Pregled sorpcijskih hladilnih naprav je na voljo tudi v delu [Mugnier et al., 2008].



Slika 2.8 *Shema adsorpcijske hladilne naprave. Osnovni sestavni deli so dve ločeni posodi 1 in 2 s sorbentom, ter uparjalnik in kondenzator. Med tem, ko se sorbent v prvi posodi ob dovajanju toplote iz solarnega ogrevalnega sistema desorbira (odstranjuje se molekule adsorbirane vode), sorbent v drugi posodi adsorbira uparjeno hladivo, ki prihaja iz uparjalnika; proces izboljšamo če ob tem sorbent hladimo. Hladivo, ki kondenzira v hlajenem kondenzatorju, prehaja v uparjalnik, kjer se zaradi nizkega tlaka ponovno upari. Za uparjanje odvzema toploto iz ohlajene vode, ki jo uporabimo za hlajenje stavbe. Delovanje adsorpcije in desorpcije v posodah se periodično izmenjuje in ponavlja za kar potrebujemo preklopne ventile.*



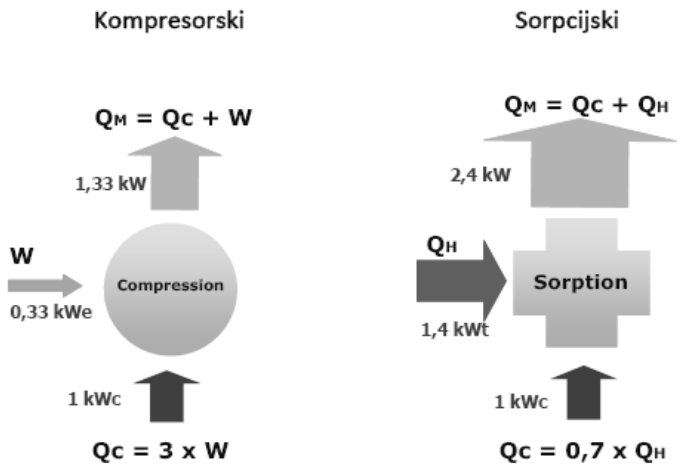
Slika 2.9 *Primeri adsorpcijskih hladilnih naprav. Levo: Hladilna naprava z močjo 70 kW Japonskega proizvajalca Nishiyodo, ki je vgrajena v univerzitetni bolnišnici v Freiburgu, Nemčija. Adsorpcijske hladilnike podobnih hladilnih moči proizvaja tudi Japonski proizvajalec Mayekawa. Sredina: Manjši napravi s hladilno močjo 7,5 kW in 15 kW proizvajalca SorTech, Nemčija. Vir: SorTech. Desno: Adsorpcijska hladilna naprava s hladilno močjo med 7 in 10 kW prizvajalca Invensor, Nemčija. Vir: Invensor.*



Slika 2.10 *Tipične zmogljivosti adsorpcijskih hladilnih naprav. Sistemi so dosegljivi na trgu in se proizvajajo maloserijsko ali po naročilu. Seznam ponudnikov ni popoln.*

Odvod toplote

Pri delovanju hladilne naprave, kot je prikazano na sliki 2.2. moramo toploto, ki jo odvajamo iz stavbe in toploto iz hladilnega procesa odvesti v okolico s temperaturo To. To storimo s sistemom za odvod toplote. Primer na sliki 2.11 prikazuje razliko v energijskih tokovih pri hladilnem sistemu s klasičnim kompresorjem in ab oziroma adsorpcijskim hladilnim sistemom. Razvidno je, da je odvod toplote pri toplotno gnanih hladilnih sistemih bistveno bolj pomemben.



Slika 2.11 *Energijski tokovi pri konvencionalnemu električno gnanemu kompresorskem hladilnemu sistemu (levo) in pri absorpcijskem hladilnem sistemu z enojnim učinkom (desno). oba sistema imata hladilno moč 1 kW. Pri izračunu so uporabljene tipične vrednosti izkoristkov. Vir: Tecsol.*

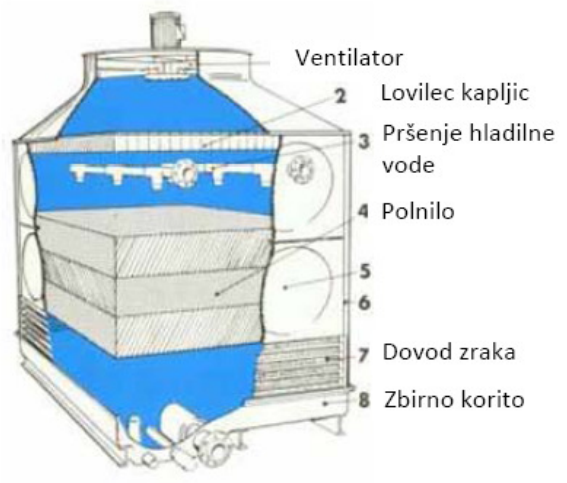
V osnovi so podsistemi za odvod toplote iz sorpcjiskega hladilnega procesa različni:

1. mokro hlajenje z izkoriščanjem učinka hlapilnega hlajenja
2. suho hlajenje brez hlapilnega hlajenja
3. hibridno hlajenje z združenim suhim in mokrim hlajenjem
4. odvod toplote z zemeljskim prenosnikom toplote
5. odvod toplote s podtalnico, morsko ali rečno vodo
6. uporaba nizkotemperaturne hladilne vode za odvod toplote na srednjetemperaturnem nivoju

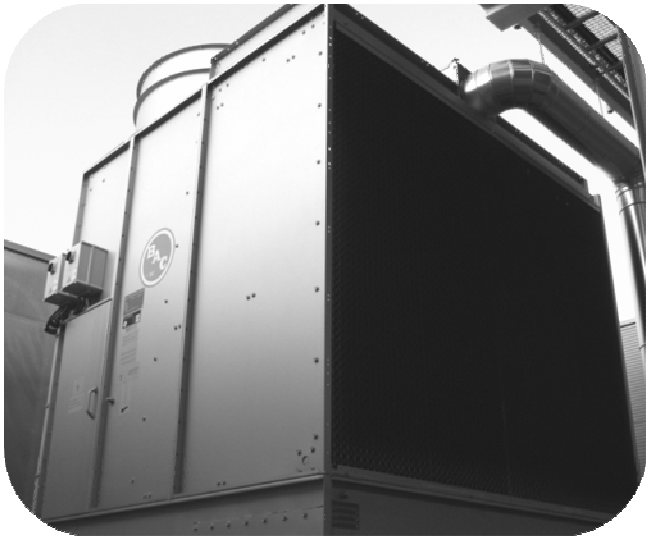
Če je možno naj imajo pri izbiri podsistema prednost tehnologije 5 in 6, saj zahtevata najnižjo rabo električne energije. Področje uporabe nizko temperaturne toplote (~ 30°C) je dokaj ozko, hlajenje z morsko vodo pa je zaradi finančnih razlogov omejeno na ozek obalni pas pa še to le za velike sisteme. Poleg tega je težko dobiti dovoljenja za odvod toplote v morje in s tem lokalno povišanje temperature morja.

Odvod toplote z uporabo zemeljskega prenosnika toplote je relativno nov pristop, ki je lahko zelo zanimiv, zlasti če se zemeljski prenosnik uporablja v kombinaciji s toplotno črpalko, ki se uporablja za ogrevanje v zimskem času. Tako se hranilnik sezonsko polni in prazni. Ob tem je potrebno poudariti, da je cena zemeljskega prenosnika trenutno še vedno dokaj visoka. Tak primer solarnega hladilnega sistema z majhno adsorpcijsko hladilno napravo je prikazan v publikaciji SOLAIR Primeri dobre prakse [SOLAIR: Katalog primerov dobre prakse, 2008].

Najpogosteje uporabljena tehnika odvoda toplote v povezavi s sorpcijskimi hladilnimi napravami je danes še vedno mokro hlajenje z odprtimi hladilnimi stolpi. Slika 2.12 prikazuje osnovni princip delovanja takega podsistema za odvod toplote: hladilna voda se na vrhu stolpa razprši in pada proti polnilu z veliko efektivno površino za prenos toplote med zrakom in hladilno vodo. Glavni hladilni učinek je dosežen z uparjanjem majhnega dela vode (običajno < 5%); to maso vode je potrebno nadomestiti s svežo vodo. Ohlajena voda se nato vrne v hladilni krog hladilne naprave. Da proces teče neprekinjeno moramo z ventilatorjem odstraniti nasičen zunanji zrak. Proces je zelo učinkovit v določenih klimatskih področjih in v principu je mejna temperatura povratne hladilne vode blizu temperature mokrega termometra zraka (3°C do 5°C nad temperaturo mokrega termometra). Primer tržno dobavljivega hladilnega stolpa je prikazan na sliki 2.13.



Slika 2.12 *Shema tipičnega odprtega mokrega hladilnega stolpa. Vir: GWA.*

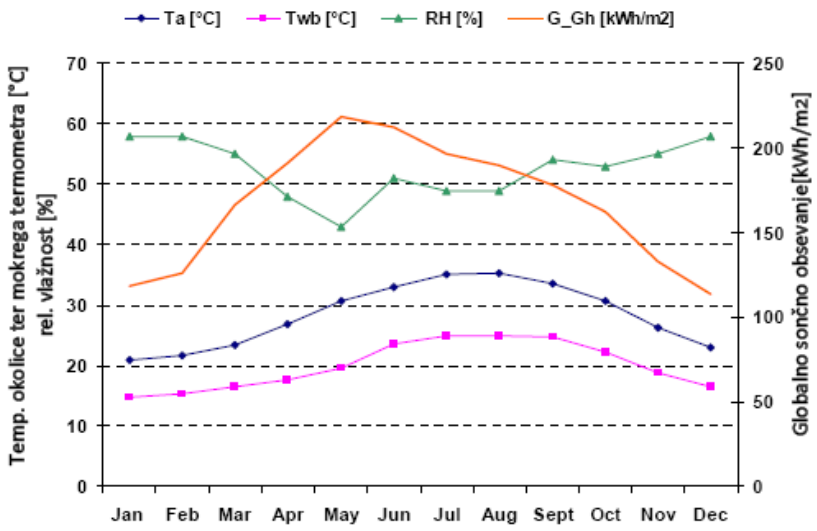


Slika 2.13 *Primer velikega mokrega hladilnega stolpa.*

V suhih klimatskih področjih je včasih potrebno zmanjšati hitrost ventilatorja mokrega hladilnega stolpa, da preprečimo padec temperature pod minimalno temperaturo hladilne vode hladilne naprave (npr. 25°C, ki je pogosto definirana za absorpcijske naprave), med tem ko je v zelo vlažnih klimatskih področjih tudi temperatura mokrega termometra pogosto visoka. Slika 2.14 prikazuje kot primer bolj ekstremnih podnebnih pogojev mesečna povprečja temperature vlažnega termometra za Dubaj. Poleti so mesečne vrednosti okrog 25°C, kar kaže na to, da lahko temperature povratka hladilne vode čez dan presežejo 30°C. Prav tako je visoka temperatura okolice, ki čez dan doseže do 40°C, kar določa mejo za suhi odvod toplote v okolico (mejna temperatura: nekaj °C nad temperaturo okolice).

Pri aplikaciji adsorpcijske tehnologije je potrebno namesto odprtih uporabiti zaprte hladilne stolpe. Razlog za to je nekaj sekundna povezava krogotoka sistema za odvod toplote s krogotokom pogonskega sistema med fazo rekuperacije toplote, ki se aktivira med menjavo funkcij med adsorpcijskim in desorpcijskim delom hladilne naprave. Hidravlično tlačni pogoji običajno ne dovoljujejo odprtega mokrega hladilnega kroga. Pri zaprtih hladilnih stolpih so ti opremljeni s toplotnim izmenjevalnikom hladilne vode, katerega hladimo z zunanjim vodnim krogom preko posrednega hlapilnega hlajenja. Slabosti te tehnike so slabša učinkovitost in višji stroški.

V nekaterih državah obstajajo predpisi s področja higiene pri uporabi hladilnih stolpov. Da preprečimo razvoj nezaželenih bakterij je morda potrebna predhodna obdelava hladilne vode. Zaradi tega razloga in pa tudi zaradi izgleda sistema za odvod toplote, predvsem pri manjših instalacijah je suhi odvod toplote, kljub omejenemu temperaturnemu nivoju hlajenja in praviloma večji porabi elektrike (višja poraba ventilatorjev, ker imamo samo senzibilno hlajenje) še vedno zanimivo. Suh odvod toplote pri solarnih hladilnih sistemih je bil uporabljen v mnogih demonstracijskih sistemih. Poleg tega eden od proizvajalcev manjše adsorpcijske hladilne naprave ponuja sistem s suhim odvodom toplote z možnostjo vodnega pršenja (hlapilnega hlajenja) v primeru visoke temperature okolice.



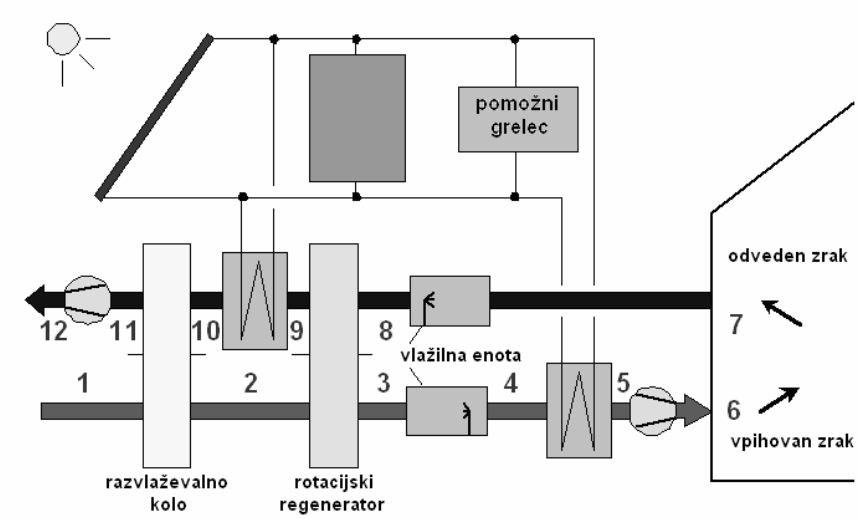
Slika 2.14 *Mesečni podatki za Dubaj. Poleti lahko preko dneva pričakujemo zelo visoke temperature vlažnega termometra, kar omejuje učinkovitost mokrih hladilnih stolpov. Obenem je visoka tudi temperatura okolice,* ***ki je indikator meje suhega odvoda toplote.***

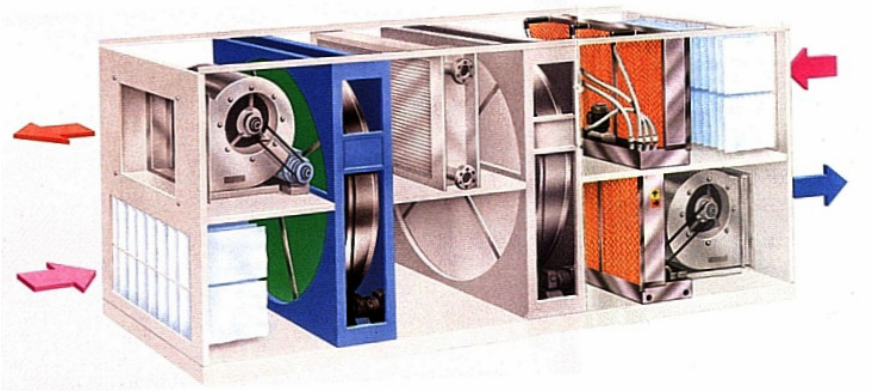
2.2 Sušilno-hlapilni zračni solarni hladilni sistemi (DEC)

Med tem ko sorpcijske hladilne naprave proizvajajo ohlajeno vodo, katero lahko vodimo do različnih klimatizacijskih naprav in sistemov, odprt zračni hladilni proces neposredno proizvaja klimatiziran zrak. Katerakoli vrsta sušilno-hlapilne solarne hladilne naprave z odprtim zračnim krožnim procesom je zasnovana na hlapilnem hlajenju z razvlaževanjem s pomočjo higroskopične snovi, ki je lahko v trdnem ali tekočem stanju. Najbolj je razširjena uporaba vrtečega se sušilnega kolesa, ki vsebuje nanos silikagela ali litijevega klorida. Vse potrebne komponente so standardne in se uporabljajo v namene klimatizacije ter razvlaževanja zraka v stavbah in industrijskih objektih vrsto let, vseeno pa zahteva pravilna izbira komponent za izdelavo sušilno-hlapilnega solarnega hladilnega sistema (DEC), ki je najbolj pogost solarni odprti zračni hladilni proces, nekaj izkušenj in pozornosti.

Standardni sistem, ki uporablja sušilno kolo je prikazan na sliki 2.15. Ta sistem je primeren za geografska področja z zmernimi klimatskimi pogoji, saj je pri visoki vlažnosti okoliškega zraka le tega težko razvlažiti do te mere, da ga lahko uporabimo za hlapilno hlajenje. Za klimatske pogoje, kakršni so na primer v mediteranskih državah, je potrebno uporabiti drugače zasnovane sušilno-hlapilne solarne hladilne sisteme.

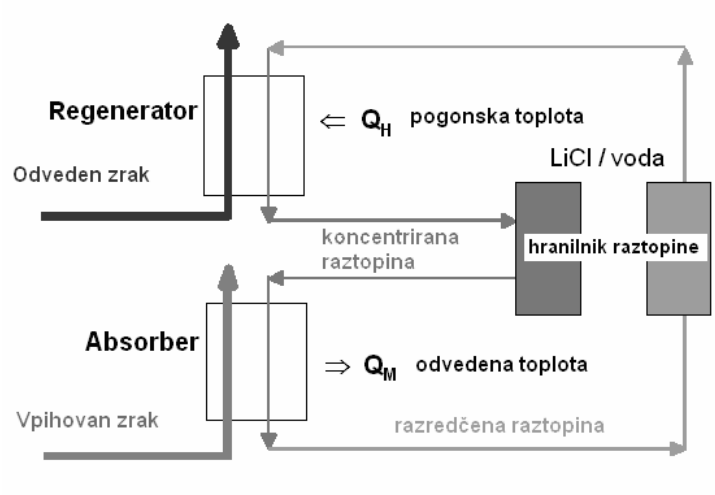
Sistemi s tekočimi sorpcijskimi sredstvi, ki imajo nekaj prednosti, kot na primer višje stopnje razvlaževanja pri isti temperaturi grelnega medija, ponujajo pa tudi možnost shranjevanja energije s pomočjo koncentriranih higroskopičnih tekočin, sicer še niso tržno dostopni, a so zelo blizu vstopa na trg; poteka že nekaj demonstracijskih projektov, kjer se testira uporabnost te tehnologije v namene solarno podprte klimatizacije. Možna splošna shema hladilnega sistema s tekočim sorpcijskim sredtvom je prikazana na sliki 2.16.





Slika 2.15 *Shema sušilno-hlapilnega solarnega hladilnega sistema s sušilnim kolesom (DEC), (Vir: Fraunhofer ISE) in spodaj: Skica naprave (Vir: Munters). Procesi si sledijo takole:*

1→2 sorpcijsko razvlaževanje zunanjega zraka; proces je skoraj adiabaten, zrak se segreje z toploto, ki se sprosti ob adsorpciji vodne pare iz zraka na sorpcijskem kolesu
2→3 zrak ima po razvlaževanju visoko temperaturo in nizko vlažnost, zato ga s prenosnikom toplote (rotacijski regenerator ali rekuperator) predhodno ohladimo
3→4 Zrak navlažimo in s tem ohladimo (adiabatno hlapilno hlajenje) ter ga vpihujemo v prostor
4→5 grelnik se uporablja samo v ogrevalni sezoni za predgrevanje zraka
5→6 rahlo povišanje temperature zaradi delovanja ventilatorja
6→7 svežemu zraku se zaradi notranjih hladilnih obremenitev poviša temperatura in vlažnost
7→8 odpadni zrak iz stavbe se ohladi s hlapilnim hlajenjem blizu krivulje nasičenja
8→9 ohlajen odpadni zrak vstopi v rotacijski regenerator s katerim predhladimo zrak, ki dokaj vroč zapušča razvlaževalno kolo.
9→10 regeneracijska toplota se zagotovi s solarnim sistemom
10→11 voda, vezana v porah sušilnega kolesa, se desorbira z vročim odpadnim zrakom
11→12 odpadni zrak gre preko ventilatorja v okolico





Slika 2.16 *Osnovna shema sušilnega hlajenja s tekočim sorpcijskim sredstvom (zgoraj). Svež zrak se razvlaži v posebej oblikovani pršni coni absorberja, kjer se koncentrirana solna raztopina razredči z vlago ki je v svežem zraku. Učinkovitost procesa se poveča z odvajanjem sorpcijske toplote, na primer s posrednim hlapilnim hlajenjem odpadnega zraka in rekuperacijo toplote. Če je potrebno, lahko dodamo še eno enoto s hlapilnim hlajenjem za hlajenje svežega zraka. (rekuperacija toplote in hlapilno hlajenje nista prikazana v tem diagramu). V regeneratorju se dovaja toplota (npr. iz solarnega sistema), da ponovno dobimo koncentrirano raztopino. Koncentrirana in razredčena raztopina sta lahko shranjeni v visoko energijskih hranilnikih, kar nam do neke mere omogoča časovni zamik v času med hlajenjem in regeneracijo. Spodaj: hladilni system s tekočim sorpcijskim hladilnim sredstvom postavljen v Solar Info Centeru v Freiburgu, Nemčija, ki služi klimatizaciji 310 m² pisarn. Volumski pretok zraka je 1500 m³/h. Sistem je razvilo in postavilo Nemško podjetje Menerga. Na levi strani slike je klimat, na desni strani slike sta hranilnika raztopine (v ospredju). Hranilnik v ozadju je del solarno ogrevalnega sistema, ki zagotavlja toploto in sestoji iz 17 m² ravnih SSE. Vir: Fraunhofer ISE.*

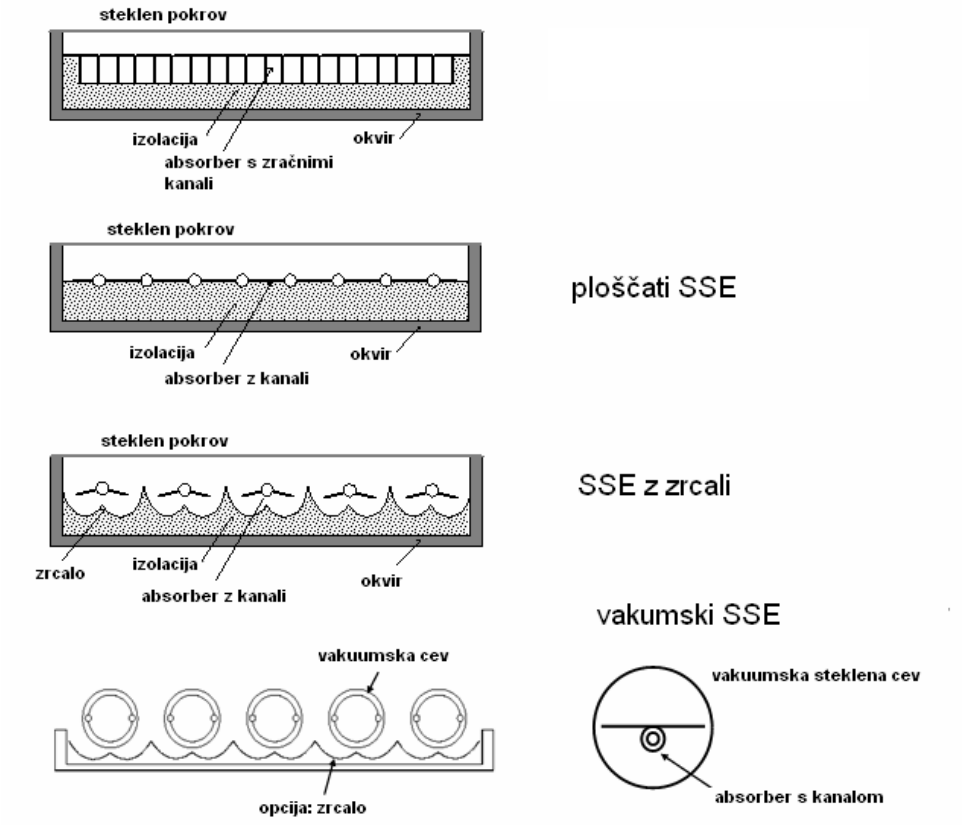
V splošnem so sušilno – hlapilni solarni hladilni sistemi zanimiva možnost v primerih, ko imamo centralni klimatizacijski sistem. V stavbah kjer imamo visoke latentne in senzibilne hladilne obremenitve, lahko proces klimatizacije razdelimo na razvlaževanje s solarnim hladilnim sušilno-hlapilnim sistemom in dodatnim hladilnim sistemom z ohlajeno vodo s katerim pokrivamo senzibilne toplotne obremenitve, na primer s hladilnimi stropovi z višjimi temperaturami ohlajene vode, saj tako dosežemo učinkovitejše delovanje hladilnih naprav.
Odprti sušilni hladilni sistemi so podrobneje opisani v [Henning, 2004/2008] in [Beccali, 2008].

2.3 Sprejemniki sončne energije

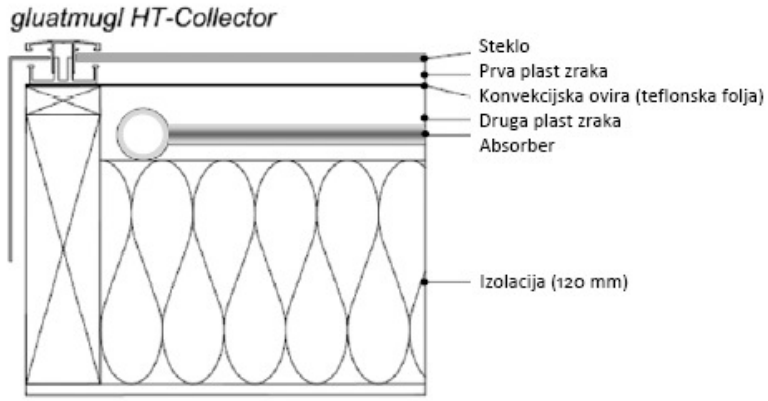
Na voljo je veliko različnih vrst sprejemnikov sončne energije (SSE) in večina od njih je primerna za uporabo v namene solarnega hlajenja. Pri tem je pomembno, da izberemo primeren tip SSE glede na izbrano tehnologijo solarnega hlajenja in klimatske pogoje kraja, se pravi razpoložljivo sončno obsevanje. Osnovni tipi SSE so prikazani na sliki 2.17, konstrukcijski principi izboljšanih ravnih SSE in vakuumskih SSE so podani na slikah 2.17a-c.

Uporaba cenenih toplozračnih SSE je omejena na sušilno-hlapilne hladilne sisteme, saj ta tehnologija zahteva najnižji temperaturni njivo grelnega medija (nekje od 50°C naprej). Za solarne hladilne sisteme z ohlajeno vodo potrebujemo vsaj visoko kvalitetne ravne SSE (selektivni nanos, kakovostna izolacija, dobra zaščita pred pregrevanjem). Tipične krivulje izkoristka SSE so prikazane na sliki 2.18 (izkoristek v stacionarnem stanju, za dve različne vrednosti sončnega sevanja). Na sliki 2.19 vidimo primerjavo celoletne proizvedene toplote za dva različna kraja v Španiji, Barcelono in Huelvo za običajne SSE in za SSE s paraboličnimi zrcali. Razviden je velik vpliv klimatskih razmer kraja.

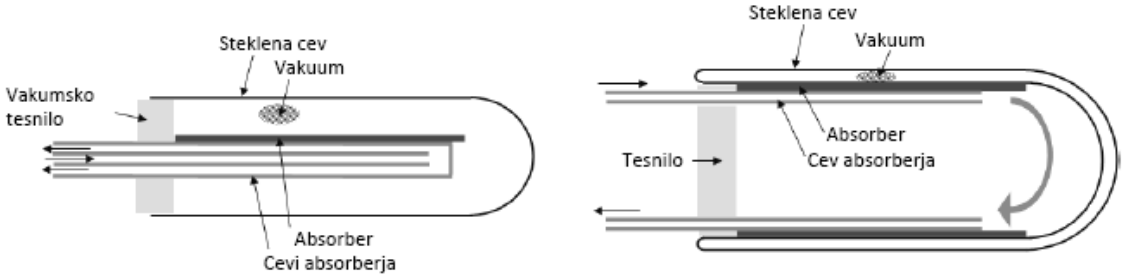
Slika 2.20 prikazuje dva primera SSE, primernih za solarno hlajenje.



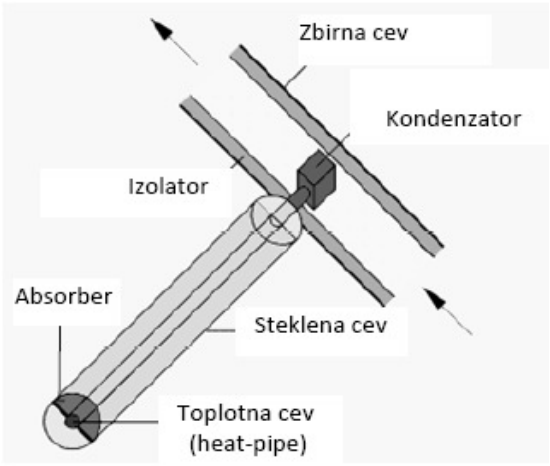
Slika 2.17 *Primeri fiksnih SSE, primernih za solarno hlajenje.*
Vir: SOLAIR didactic material base / Fraunhofer ISE.



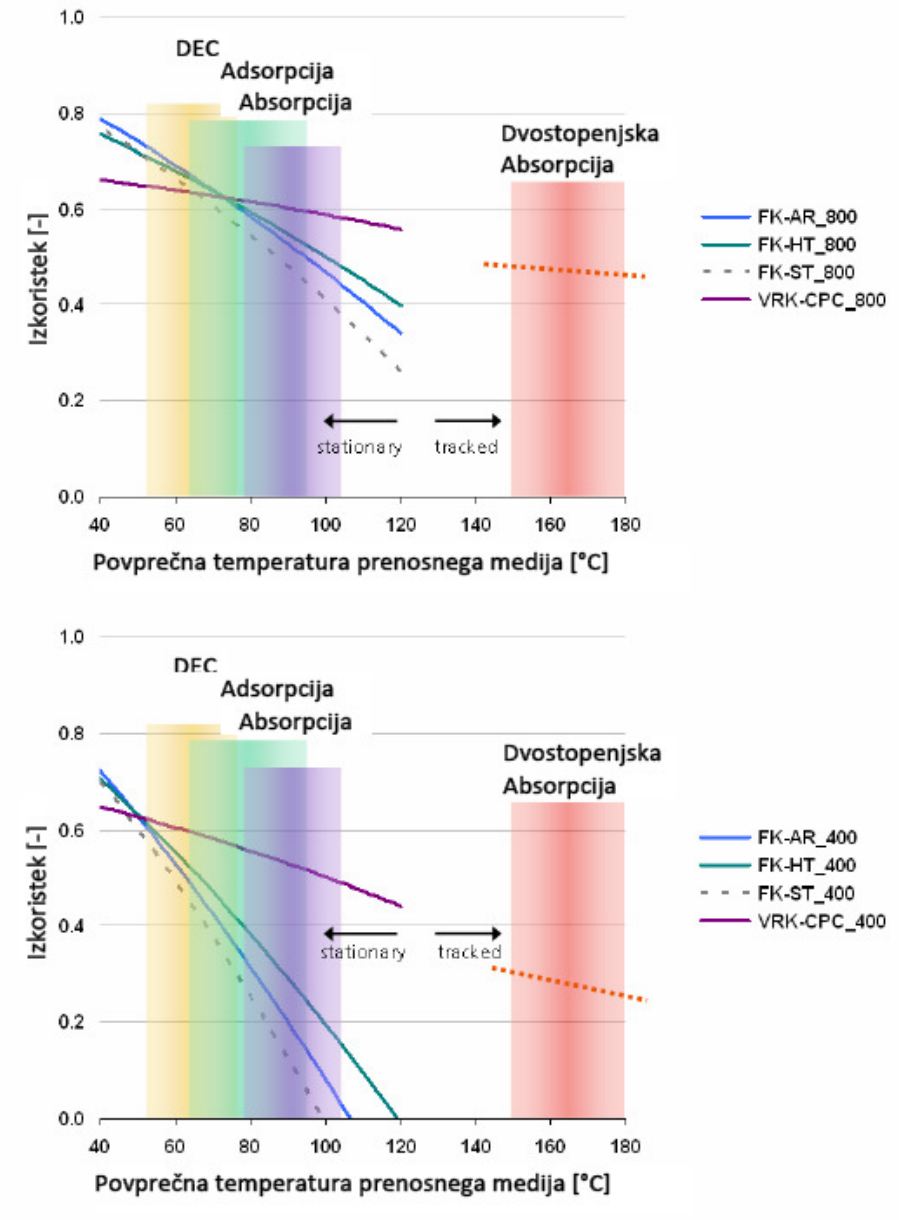
Slika 2.17a *Primer ravnega SSE z zmanjšanimi toplotnimi izgubami z debelejšim slojem izolacije in dodatno konvekcijsko oviro (teflonska folja). Vir: S.O.L.I.D.*
Nekateri ravni SSE so izboljšani tudi s pomočjo selektivnih nanosov ali z dvojno zasteklitvijo. Taki SSE so primernejši za uporabo v namene solarnega hlajenja kot običajni ravni SSE.



Slika 2.17b *Primera vakuumskih SSE z direktnim tokom skozi absorber. Slika na levi prikazuje 'običajni' konstrukcijski pristop, medtem ko desna slika prikazuje rešitev, ki se danes najpogosteje uporablja in pri kateri so težave z tesnostjo v glavnem odpravljene. Vir: Fraunhofer ISE*

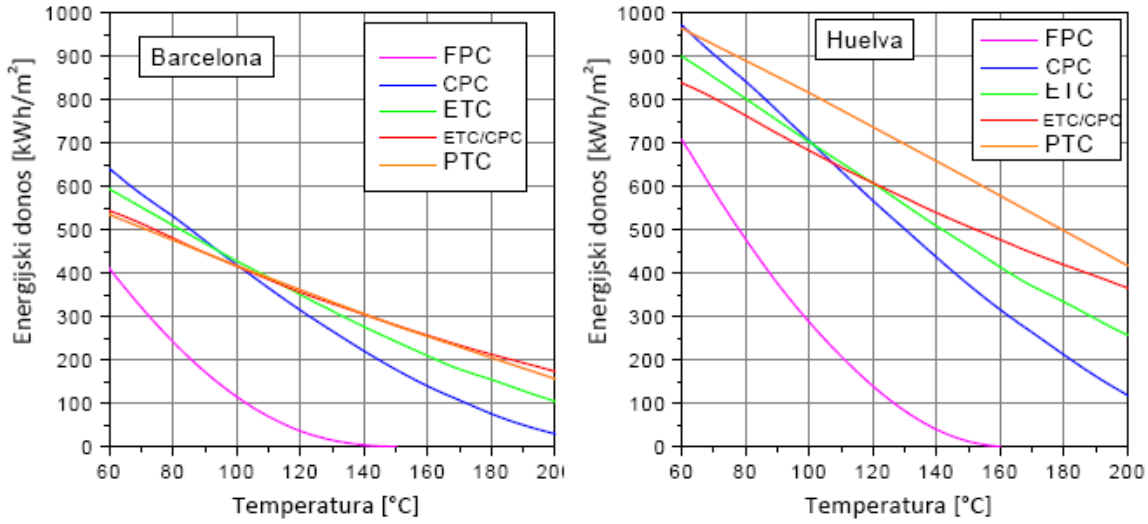


Slika 2.17c *Primer vakuumskega SSE z toplotno cevjo (heat-pipe). Prednost: toplotna cev je zaščitena pred zmrzovanjem in varna pred stagnacijo, to pa ne velja za zbirno cev, ki mora biti izolirana. Slabost: najvišja cena med vakuumskimi SSE. Vir: www.solarserver.de*



Slika 2.18 *Značilne krivulje izkoristka fiksnih SSE, izračunane iz podatkov, ki se nanašajo na svetlo površino SSE. Krivulje veljajo za temperature okolice 25°C in sončno sevanje 800 W/m² (zgoraj) in 400 W/m² (spodaj). Slika vključuje grobo oceno področja uporabe najzanimivejših tehnologij solarnega hlajenja . Ker graf velja samo za stacionarne pogoje obratovanja in so krivulje bolj informativne narave ni ustrezen za odločitev o izbiri tipa SSE pri načrtovanju sistema.*
Kljub temu, da lahko za fiksne SSE narišemo krivuljo tudi za višje temperature, so te na sliki končajo pri temperaturi > 120°C, ker imamo malo izkušenj s temi tipi SSE pri višjih temperaturah (in posledično višjih tlakih). Za višji temperaturni njivo, je kot primer vključen izkoristek SSE s zrcali za zgoščevanje sončnega sevanja in enoosnim sledenjem soncu. Vir: Fraunhofer ISE.

FK-ST Ravni SSE, standardni produkt
FK-AR Ravni SSE, enojni stekleni pokrov, anti refleksijski nanos
FK-HT Ravni SSE, enojni stekleni pokrov, konvekcijska zapora - folja, izboljšana izolacija
VRK-CPC Vakuumski SSE, direktni pretok medija, tipa Sydney z zunanjo CPC zrcalno ploščo

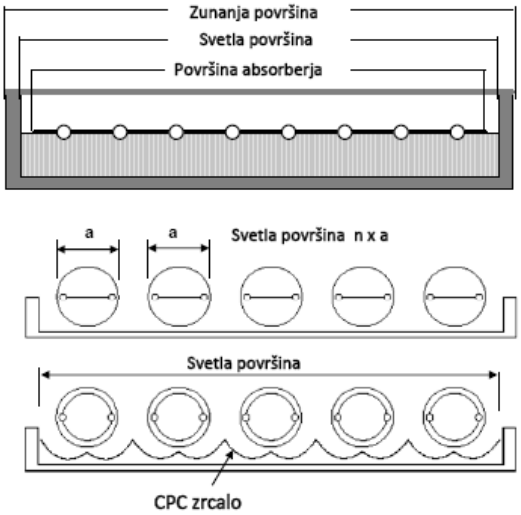


Slika 2.19 *Značilni energijski donosi kot funkcija temperature medija na izstopu iz SSE izračunani za Barcelono in Huelvo, Španija.*
FPC: standardni ravni SSE, CPC: ravni SSE s paraboličnimi zgoščevalnimi zrcali (nizka stopnja zgoščevanja), ETC: vakuumski SSE, ETC/CPC: Vakuumski SSE s paraboličnimi zgoščevalnimi zrcali, PTC: SSE s paraboličnimi zrcali.
Vir: SOLAIR didactic material base /Aiguasol.

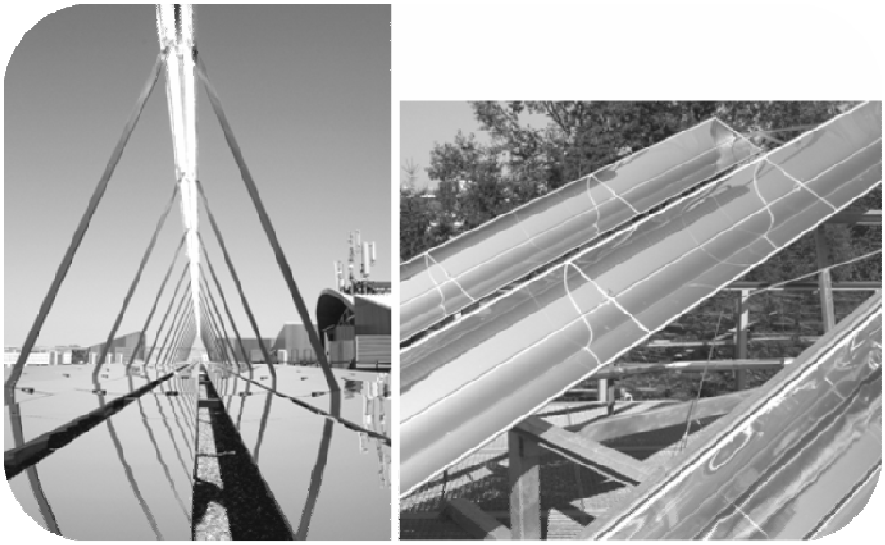


Slika 2.20 *Primeri SSE. Levo: Ravni SSE s CPC zrcali, postavljeni na strehi National Energy Research Centre INETI v Lizboni, Portugalska. Polje SSE je vir pogonske toplote za sušilno-hlapilni solarni hladilni sistem, postavljen v eni od pisarniških zgradb INETI. Vir: INETI.*
Desno: Vakuumski SSE na strehi vinske kleti v Banyulsu, Francija. To polje SSE zagotavlja pogonsko toploto absorpcijski hladilni napravi s hladilno močjo 52 kW. Vir: Tecsol.

Ko govorimo o izkoristku SSE ali pa o ceni sistema na m², oziroma kaki drugi zadevi povezani s površino je pomembno, da pravilno razumemo pojem referenčne površine. V splošnem poznamo tri različne definicije površin, kot so prikazane na sliki 2.21: zunanja površina, svetla površina (predstavlja površino, ki prepušča sončno sevanje) in površina absorberja. Posebej pri vakuumskih SSE, se lahko te vrednosti pri enem modelu SSE razlikujejo za več kot 25%. Površina absorberja mora biti na primer pri cevnih absorberjih točno definirana (površina absorberja lahko poveča zunanjo površino).



Slika 2.21 *Definicije površin SSE (seveda jih je potrebno pomnožiti z dolžino).*



Slika 2.22 *Primera SSE s zrcali za zgoščevanje sončnega sevanja z eno osnim sledenjem soncu.*
Levo: Fresnelov koncentrator za pripravo tople vode v srednje temperaturnem območju do 200°C. Zrcala sledijo poti sonca tako, da usmerjajo sončno sevanje na absorber postavljen nad polje zrcal. Prednost: majhna občutljivost na visoke hitrosti vetra. Vir: PSE, Nemčija.
Desno: SSE s paraboličnimi zrcali, proizvajalca Button Energy, Avstrija. Zasnovan je za proizvodnjo pare in je del raziskovalnega projekta z parnim ejektorskim solarnim hladilnim sistemom, ki ga izvaja AEE-INTEC, Avstrija.

- SSE z zrcali so prav tako kot ravni zanimivi za uporabo pri solarnem hlajenju. Uporabimo jih lahko za
- zagotavljanje pogonske toplote (vodna para) pri temperaturi 150°C za dvostopenjske absorpcijske hladilne naprave. Pri večjem $COP_{toplotni} > 1$, ki je značilen za tak sistem, je potrebna nižja instalirana toplotna pogonska moč in je zato manjši tudi sistem za odvod toplote v okolico. Pri tem je potrebno poudariti da dvostopenjske naprave manjših moči zaenkrat še niso tržno dosegljive;
- zagotavljanje pogonske toplote za naprave in aplikacije, kjer je potrebno premagati veliko temperaturno razliko od temperature ohlajene vode do temperature odvoda toplote (npr. zahtevana nizka temperatura ohlajene vode v povezavi z suhim odvodom toplote). Tipična kombinacija so SSE s zrcali in absorpcijska hladilna naprava z delovnim parom amoniak/voda;
- novi pristopi k solarnemu hlajenju, kot na primer uporaba parnega ejektorskega hladilnega sistema (v razvojni fazi).

Uporaba SSE z zrcali s sledenjem soncu je praviloma bolj primerna za kraje z višjim deležem direktnega sončnega obsevanja. Kljub vsemu je potrebna bolj podrobna analiza, da določimo proizvedeno toploto takega sistema. Slika 2.22 prikazuje dva primera SSE z zrcali.

Za SSE, ki delujejo v srednjem temperaturnem območju so na voljo podatki iz raziskav trga [Task 33/IV, 2008].

Reference

***[Henning**, 2006]*
Hans-Martin Henning: Solar cooling and air-conditioning – thermodynamic analysis and overview about technical solutions. Proceedings of the EuroSun 2006, held in Glasgow, UK, 27-30 June, 2006.

[Henning, Wiemken, 2007]
Hans-Martin Henning, Edo Wiemken: Solar Cooling. Proceedings of the ISES Solar World Congress, Bejing, China, 2007.

[ASHRAE, 1988]
ASHRAE handbook (1988) Absorption Cooling, Heating and Refrigeration Equipment; Equipment Volume, Chapter 13.

[Henning, 2004/2008]
Hans-Martin Henning (Ed.): Solar-Assisted Air-Conditioning in Buildings – A Handbook for Planners. Springer Wien/NewYork. 2nd revised edition 2008; ISBN 3211730958.

[Mugnier et al., 2008]
D. Mugnier, M. Hamdadi, A. Le Denn: Water Chillers – Closed Systems for Chilled Water Production (Small and Large Capacities). Proceedings of the International Seminar Solar Air-Conditioning – Experiences and Applications, held in Munich, Germany, June 11th, 2008.

[Beccali, 2008]
Marco Beccali: Open Cycles – Solid- and Liquid-based Desiccant Systems. Proceedings of the International Seminar Solar Air-Conditioning – Experiences and Applications, held in Munich, Germany, June 11th, 2008.

[SOLAIR: Review technical solutions, 2008].
Task 2.1: Review of available technical solutions and successful running systems. Cross Country Analysis. Public accessible report in SOLAIR. www.solair-project.eu

[SOLAIR: Best practice Catalogue, 2008]
Task 2.2: Best Practice Catalogue. Public accessible report in SOLAIR. www.solair-project.eu

[MEDISCO, 2006]
Mediterranean food and agro industry applications of solar cooling technologies. Contract 032559 (EU-INCO). Co-ordination: Politcnico di Milano, Italy. Duration: 01.10.2006 – 30.09.2009. www.medisco.org

[Zahler, 2008]
Chr. Zahler, A. Häberle, F. Luginsland, M. Berger, S. Scherer: High Teperature System with Fresnel Collector. Proceedings of the International Seminar Solar Air-Conditioning – Experiences and Applications, held in Munich, Germany, June 11th, 2008.

[Task 33/IV, 2008]
Werner Weiss, Matthias Rommel (Editors): Process Heat Collectors – State of the Art within Task 33/IV. Brochure compiled in IEA SHC-Task 33 and SolarPACES-Task IV: Solar Heat for Industrial Processes. Published by AEE INTEC, Gleisdorf, Austria, 2008. www.iea-shc.org/task33

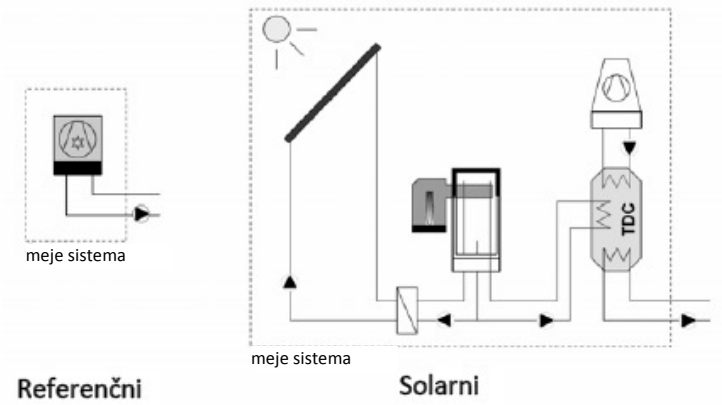
3 Glavne zahteve za solarne hladilne sisteme

3.1 Prihranek primarne energije

Vsakršno hlajenje ali klimatizacija je povezano z uporabo primarnih energetskih virov, ki zagotavljajo električno energijo ali toploto za delovanje končnih porabnikov - naprav. Danes so primarni energetski viri v večini držav pretežno sestavljeni iz fosilnih goriv, zato je njihova uporaba povezana z emisijami toplogrednih plinov. Posledično je osnovna zahteva za solarne hladilne sisteme varčevanje s primarno energijo in zmanjševanje emisij, ki prispevajo k učinku tople grede[3].

Ta predpogoj vpliva na zasnovo in oblikovanje solarnih hladilnih sistemov; to bo prikazano v naslednjem primeru. Imamo solarni hladilni sistem s kotlom na fosilna goriva kot pomožnim virom toplote in primerjamo vložek primarne energije z običajnim električno gnanim kompresorskim hladilnim sistemom. Osnovna shema sistema je prikazana na sliki 3.1. Pomožni kotel je predviden za pokrivanje potreb po toploti solarnega hladilnega sistema takrat, ko je na voljo malo toplote iz solarnega sistema, je pa stavbo še vedno potrebno hladiti. Robni pogoji te primerjave so

- ogrevanje prostorov ni upoštevano
- pri referenčnem sistemu je energija za odvod toplote vključena v hladilnem številu kompresorske hladilne naprave COP_{VCC}
- pri solarnem hladilnem sistemu je hladilna naprava opredeljena s hladilnim številom COP_{TDC}. Energija potrebna za odvod toplote v okolico je upoštevana posebej
- specifična poraba primarne energije na kWh uporabnega hladu je izračunana na osnovi ocene povprečne predvidene porabe in enačb definiranih v nadaljevanju.



Slika 3.1 *Referenčni sistem in solarni hladilni sistem, ki je obravnavan v delu prvega poglavja, kjer je govora o oceni porabe primarne energije. Vir: Fraunhofer ISE.*

Glavne enačbe za izračun porabe primarne energije so podane na sliki 3.2:

3 *V nekaterih državah viri primarne energije, ki se uporabljajo za proizvodnjo električne energije in toplote že vključujejo visok delež obnovljivih virov energije. V tem primeru solarni hladilni sistemi nimajo večinskega prispevka k prihranku fosilnih goriv, jih pa lahko vrednotimo na podlagi učinkovitosti in ekonomskih ali drugih kriterijev, na primer ali je lokalni sistem, ki uporablja obnovljive vire energije bolj učinkovit ali ekonomičen v primerjavi s centralnim sistemom dobave energije. Taki primeri so zelo redki, zato jih tu ne obravnavamo.*

Solarno hlajenje

$$PE_{C,sol} = \frac{Q_{cold}}{COP_{TDC}} \cdot \left[\underbrace{\frac{(1-SF_C)}{\eta_{boiler} \cdot \eta_{PE,fossil}}}_{\text{pogonska toplota iz fosilnih goriv}} + \underbrace{\cdot \frac{SF_C \cdot f_{el,solar}}{\eta_{PE,grid}}}_{\text{električna energija za solarni sistem}} + \underbrace{\frac{COP_{TDC} \cdot f_{el,TDC}}{\eta_{PE,grid}}}_{\text{električna energija za solarno hladilno napravo}} + \underbrace{\frac{f_{el,HR} \cdot (COP_{TDC}+1)}{\eta_{PE,grid}}}_{\text{električna energija za odvod toplote}} \right]$$

Referenčni sistem

$$PE_{C,ref} = \frac{Q_{Cold}}{COP_{VCC} \cdot \eta_{PE,grid}}$$

Prihranek primarne energije

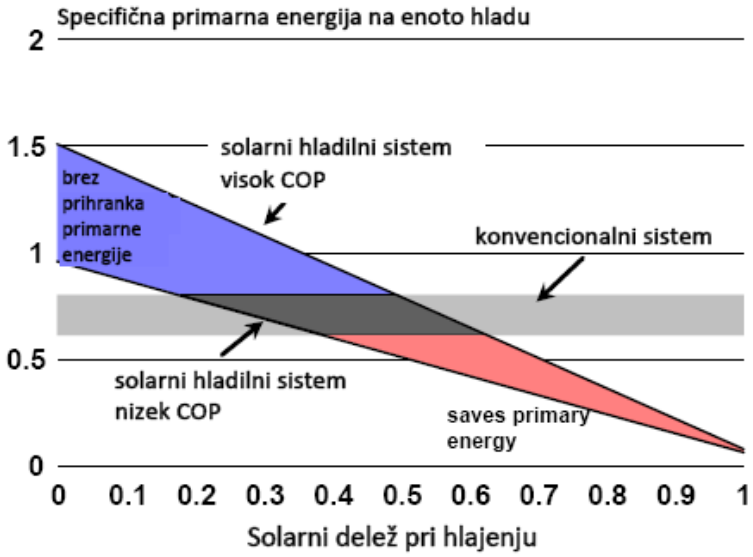
$$\Delta PE_{rel} = \frac{PE_{C,ref} - PE_{C,sol}}{PE_{C,ref}}$$

Slika 3.2 *Enačbe za izračun potrebne primarne energije za solarni hladilni sistem in referenčni sistem, ki je prikazan na sliki 3.1., osnovane na podatkih o povprečni specifični porabi. Viri: Fraunhofer ISE.*

kjer je

$PE_{C,sol}$	= potrebna primarna energija za solarni hladilni sistem	[kWh_{PE}]
$PE_{C,ref}$	= potrebna primarna energija za referenčni sistem	[kWh_{PE}]
ΔPE_{rel}	= razlika v prihranku primarne energije, v odvisnosti od $PE_{C,ref}$	[- ; %]
COP_{TDC}	= proizveden hlad na enoto pogonske toplote	[$kWh_{cold}/kWh_{driving_heat}$]
COP_{VCC}	= proizveden hlad na enoto električne energije	[$kWh_{cold}/kWh_{electricity}$]
Q_{cold}	= uporabna količina proizvedenega hladu	[kWh]
SF_C	= solarni delež pogonske toplote za sol. hladilno napravo	[-]
η_{boiler}	= izkoristek kotla na fosilna goriva	[-]
$\eta_{PE,fossil\ fuel}$	= izkoristek primarne energije fosilnega goriva	[-]
$\eta_{PE,grid}$	= izkoristek primarne energije iz električnega omrežja	[-]
$f_{el,solar}$	= specifična poraba elektrike za solarni sistem (črpalke)	[$kWh_{electricity}/kWh_{solar\ heat}$]
$f_{el,TDC}$	= specifična poraba elektrike za solarno hladilno napravo	[$kWh_{electricity}/kWh_{cold}$]
$f_{el,HR}$	= specifična poraba elektrike za odvod toplote	[$kWh_{electricity}/kWh_{rejected\ heat}$]

Glavno odvisnost med potrebno primarno energijo in solarnim deležem prikazuje slika 3.3. Potrebna primarna energija je podana na enoto proizvedenega hladu. Za referenčni sistem je ta odvisna samo od COP_{VCC}, zato so črte horizontalne. Potrebna primarna energija za solarni hladilni sistem se zmanjšuje s povečevanjem deleža solarne energije in se spreminja glede na toplotni COP_{TDC}. Ko presežemo določeno vrednost solarnega deleža se zmanjša potrebna primarna energija za solarni hladilni sistem pod nivo primarne potrebne energije referenčnega sistema in takrat solarni hladilni sistem varčuje s primarno energijo. Zato mora biti solarni hladilni sistem zasnovan tako, da zagotavlja določen povprečni solarni delež v obdobju, ko je potrebno hlajenje.

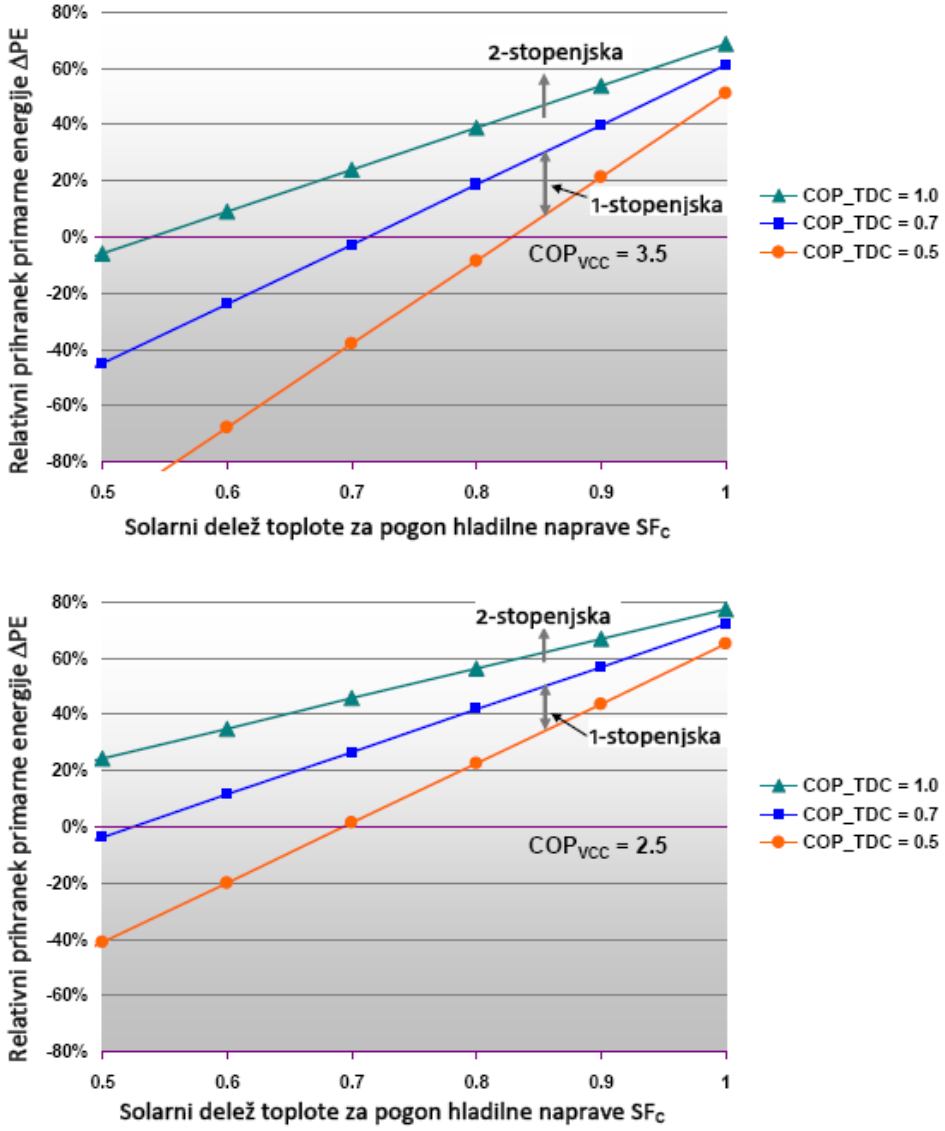


Slika 3.3 *Glavna odvisnost specifične potrebe po primarni energiji solarnega hladilnega sistema in referenčnega običajnega kompresorskega hladilnega sistema. Solarni hladilni sistem ima pomožni vir toplote v obliki kotla na fosilna goriva. Vir: Aiguasol.*

Na sliki 3.4 je kot primer za specifične parametre prikazan relativen prihranek primarne energije v procentih potrebne primarne energije referenčnega sistema. Uporabljeni parametri so podani v legendi na sliki. Pri tem ne smemo pozabiti, da je v izračunih pomožna toplota zagotovljena s kotlom na fosilna goriva.

Prihranek je izračunan za dve različni vrednosti COP_{VCC} referenčnega sistema: 3.5 (zgornja slika) in 2.5 (spodnja slika), pri čemer je slednji bolj izkustveni, iz realiziranih projektov hlajenja stavb. Diagram kaže na to, da so pri uporabi enostopenjske absorpcijske solarne hladilne naprave v splošnem potrebni visoki deleži solarne toplote, da dosežemo prihranke primarne energije. Pri referenčnem hladilnem sistemu s COP_{VCC} = 3,5, in solarnem hladilnem sistemu s povprečnim COP_{TDC} = 0,5, lahko dosežemo prihranek primarne energije > 20% ob manj kot 10% deležu pogonske toplote iz pomožnega kotla.

Situacija se izboljša ob uporabi dvostopenjske absorpcijske tehnologije, ampak kljub temu da tehnologija ni uporabna v vseh klimatskih področjih so potrebni deleži solarne toplote še vedno visoki. Na primer, če imamo referenčni sistem s COP_{VCC} = 3,5, je potreben delež solarne toplote 70% pri dvostopenjski hladilni napravi (za povprečno razmerje toplot je privzet COP_{TDC} = 1,0) da dosežemo relativni prihranek primarne energije nad 20%.



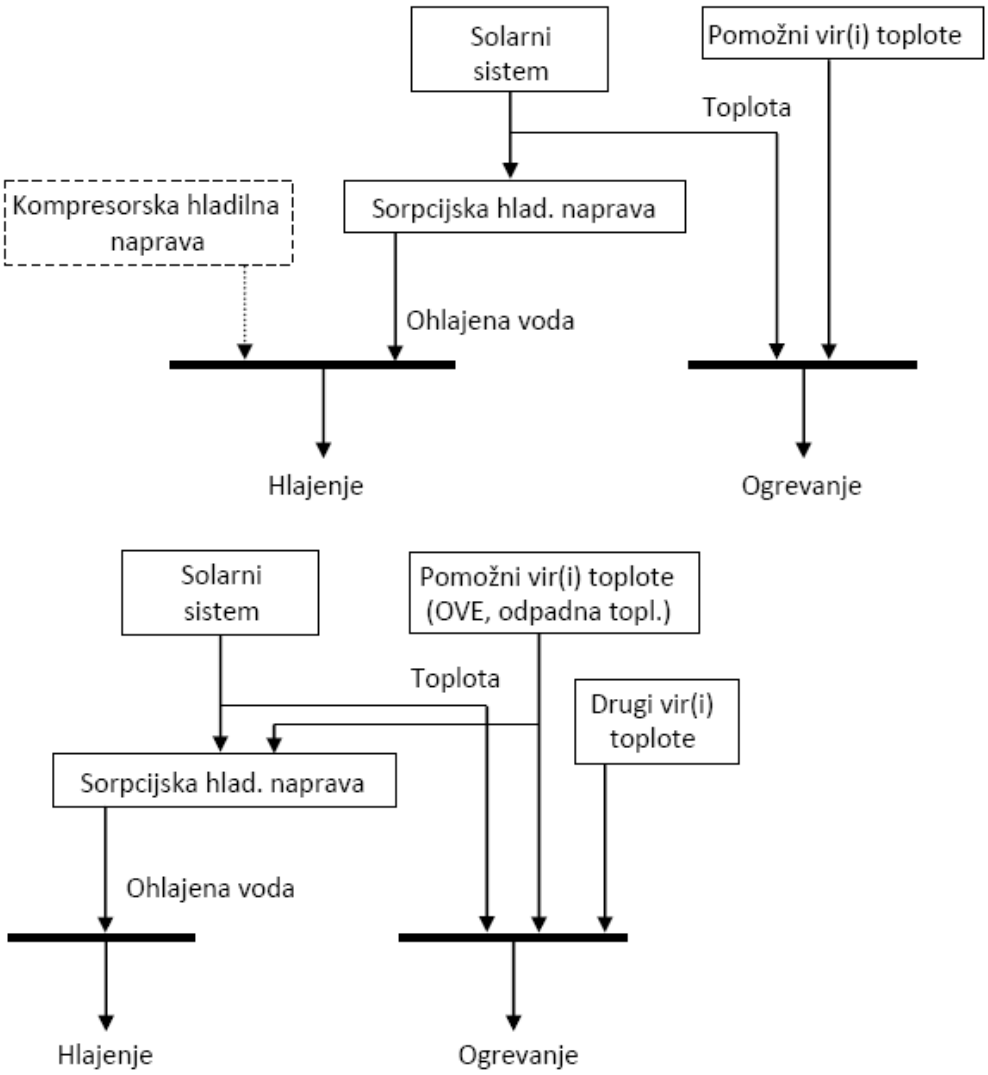
Slika 3.4 Relativni prihranek primarne energije solarnega hladilnega sistema (glej sliko 3.1) kot funkcija deleža solarne toplote. Zgoraj: v primerjavi z referenčnim sistemom s povprečnim COP_{VCC} = 3,5; spodaj: v primerjavi z referenčnim sistemom s povprečnim COP_{VCC} = 2,5. Vrednosti COP_{TDC} med 0,5 in 0,7 v grobem prikazujejo delovno območje enostopenjskih absorpcijskih in adsorpcijskih hladilnih sistemov, pri čemer vrednosti nad 1,0 ustrezajo dvostopenjski absorpcijski tehnologiji. Vir: Fraunhofer ISE. Parametri uporabljeni v izračunu:

COP_{TDC}	= 0,5 – 1,0	[$kWh_{cold}/kWh_{driving_heat}$]
COP_{VCC}	= 3,5 (zgoraj); 2.5 (spodaj)	[$kWh_{cold}/kWh_{electricity}$]
η_{boiler}	= 0,9	[-]
$\eta_{PE,fossil\ fuel}$	= 0,95	[-]
$\eta_{PE,grid}$	= 0,38	[-]
$f_{el,solar}$	= 0,02	[$kWh_{electricity}/kWh_{solar\ heat}$]
$f_{el,TDC}$	= 0,01	[$kWh_{electricity}/kWh_{cold}$]
$f_{el,HR}$	= 0,03	[$kWh_{electricity}/kWh_{rejected\ heat}$]

3.2 Zahteve za osnovno shemo sistema

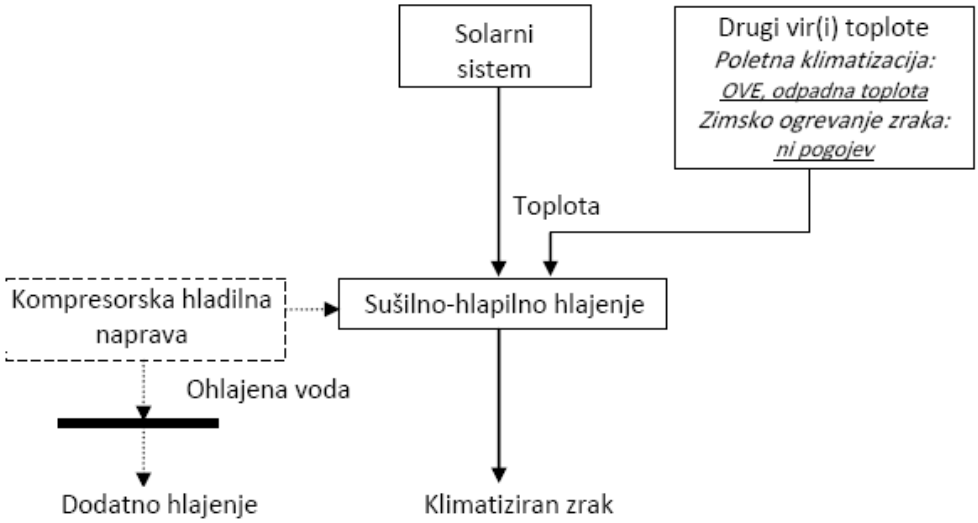
Iz razlogov, ki so bili izpostavljeni v prejšnji točki, lahko kar se tiče sheme in zasnove solarnih hladilnih sistemov v smislu varčevanja s primarno energijo potegnemo naslednje zaključke:

- uporaba pomožnega vira na fosilno gorivo pri solarnih hladilnih sistemih je nezaželena in se ji moramo v celoti izogniti, oziroma ga lahko uporabimo samo v posebnih primerih (ekstremna stanja zraka v stavbi). Delno pokrivanje potreb po toploti iz fosilnega vira je sprejemljivo samo pri dvostopenjskih hladilnih napravah in to v odvisnosti od kvalitete referenčnega sistema
- Če morajo biti parametri zraka v prostoru znotraj nekih predpisanih meja in je potemtakem potreben pomožni sistem, je boljša rešitev kompresorska hladilna naprava. V tem primeru energijska enota 'hladu', ki jo proizvede solarni del hladilnega sistema niža porabo primarne energije celotnega sistema (solarni sistem deluje kot varčevalec z energijo)
- alternativa pa je, da pomožni vir toplote uporablja gorivo iz obnovljivih virov ali pa izkoristimo odpadno toploto nekega drugega procesa in se tako izognemo emisijam toplogrednih plinov
- če se uporabi fosilnega vira pri toplotno gnanih hladilnih napravah iz različnih razlogov ne moremo izogniti je potrebno pri zasnovi solarnega hladilnega sistema s pomočjo simulacij in izračunov določiti primerne velikosti komponent sistema, konfiguracijo sistema in strategije nadzora, da dosežemo cilj varčevanja s primarno energijo.



Slika 3.5 *Priporočila glede osnovne sheme solarnega sistema. Zgoraj: solarni hladilni sistem deluje izključno na toploto iz solarnega sistema. V primeru da tak avtonomen solarni način delovanja ne zadošča za pokrivanje klimatizacijskih zahtev (zahtevane vrednosti stanj zraka v prostoru), je kot pomožni vir uporabljena kompresorska hladilna naprava. Spodaj: sorpcijska hladilna naprava je edini vir proizvodnje hladu. Toplota pa se zagotavlja s solarnim sistemom ali pa iz drugega vira, bodisi obnovljivih virov ali pa je to odpadna toplota. Če imamo vir toplote iz fosilnih goriv se ta uporablja le za ogrevanje ali/in pripravo tople sanitarne vode. Vir: Fraunhofer ISE.*

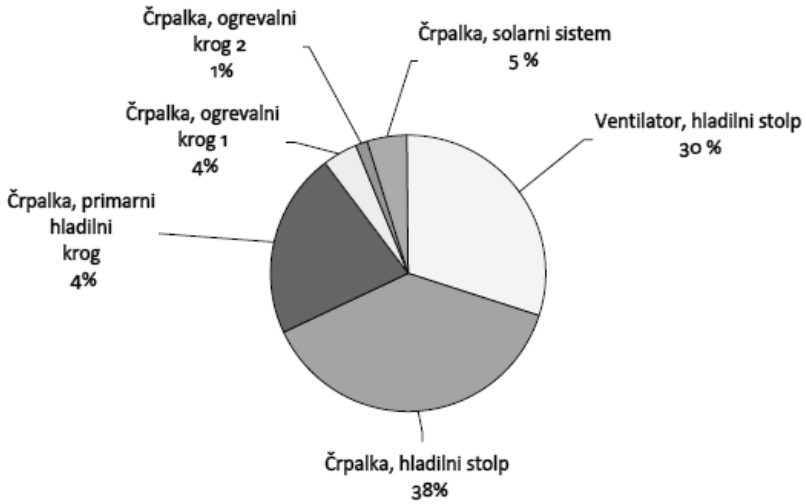
Sliki 3.5 in 3.6 povzemajo preferenčne zasnove sistemov. Slika 3.5 prikazuje shemi solarnih hladilnih sistemov z ohlajeno vodo, slika 3.6 pa sušilno-hlapilno solarno hlajenje. Ker je slednji tip hladilnega sistema kompleksnejši, za njega ne veljajo enačbe iz točke 3.1. V tem primeru je referenčni sistem kompresorska hladilna naprava za razvlaževanje in hlajenje zraka. Pri mnogih konvencionalnih klimatizacijskih sistemih je potrebno sveži zrak po razvlaževanju s hlajenjem pod točko rosišča ponovno segreti. Pri sušilno-hlapilno hladilnem sistemu to ni potrebno, je pa potrebna podrobnejša analiza, da določimo vpliv pomožnega sistema, ki uporablja fosilno gorivo na rabo primarne energije. Kljub vsemu sta odpadna toplota ali toplota iz obnovljivih virov priporočena vira toplote za uporabo v sušilno-hlapilnih hladilnih procesih, kot je prikazano na sliki 3.6.



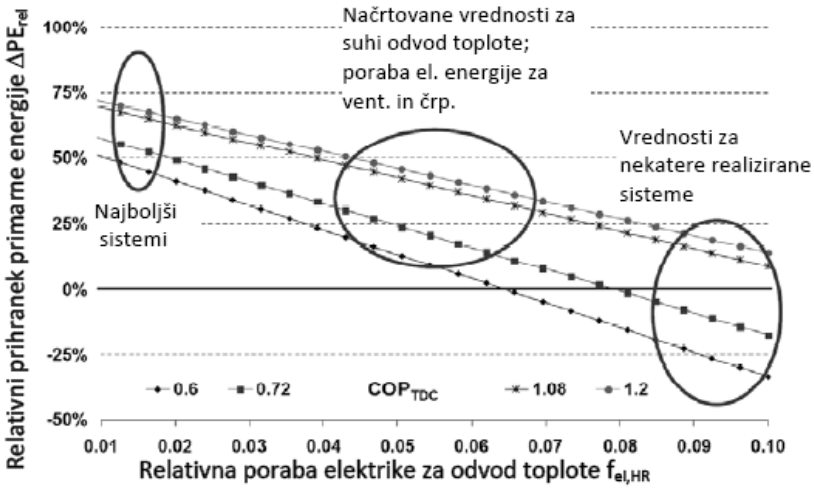
Slika 3.6 *Priporočila glede izbire vira toplote pri odprtih sušilnih hladilnih procesih. Vir: Fraunhofer ISE.*

3.3 Sistem za odvod toplote

Tudi če je toplota za pogon solarnega hladilnega sistema pridobljena izključno iz solarnega sistema ali drugega ne-fosilnega vira je še vedno potrebna pomožna energija za pogon črpalk, ventilatorjev hladilnih stolpov in upravljanje sistema. Iz izkušenj s takšnimi sistemi vemo, da je delež električne energije za pogon črpalk hladilne vode in ventilatorjev hladilnih stolpov prevladujoč in je veliko večji od deleža potrebne električne energije za črpalke solarnega sistema, črpalke grelnega medija in upravljanje sistema. Kot primer je na sliki 3.7 prikazana porazdelitev deležev pomožne energije za adsorpcijsko solarno hladilno napravo. V tem primeru se 68% električne energije porabi za odvod toplote.

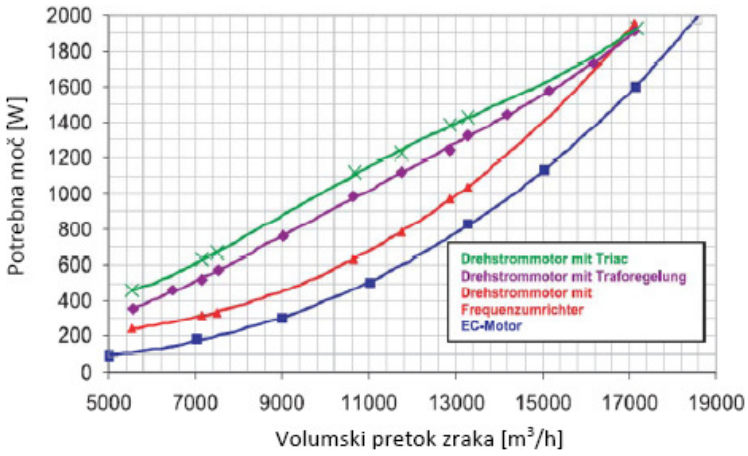


Slika 3.7 *Deleži potrebne električne energije pri solarnem hladilnem sistemu (171 m² vakumskih SSE, 70 kW adsorpcijska hladilna naprava, moker hladilni stolp zaprtega tipa. Aplikacija: Univerzitetna bolnišnica Freiburg; Podatki iz leta 2003). Vir: Fraunhofer ISE.*



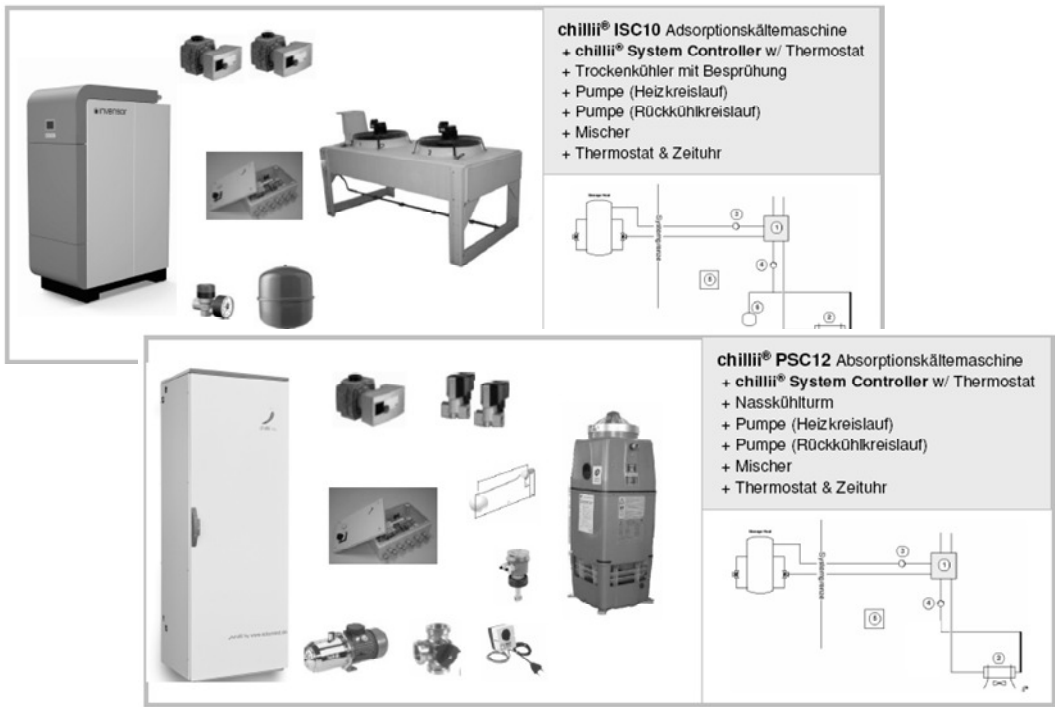
Slika 3.8 *Primer vpliva porabe elektrike za odvod toplote na relativni prihranek primarne energije. Vir: Fraunhofer ISE.*

Slika 3.8 razkriva vpliv $f_{el,HR}$ za odvod toplote na specifično porabo električne energije. Preračun je izveden z uporabo enačb iz poglavja 3.1 s konstantnimi parametri (primerjava s sliko 3.4; COP_{VCC}=3,5, delež solarne toplote približno 0,9). Jasno razvidno je, da mora biti tokokrog sistema za odvod toplote skrbno hidravlično zasnovan, če hočemo zmanjšati porabo elektrike. V nasprotnem primeru ne bomo dosegli cilja varčevanja s primarno energijo. Slika 3.9 prikazuje kot primer porabo elektrike za pogon ventilatorjev, za različne vrste pogonskih motorjev. Najnižja poraba elektrike je dosežena z elektronsko krmiljenimi brez krtačnimi DC-motorji (EC-tehnologija).



Slika 3.9 *Primer porabe elektrike za različne motorje ventilatorjev. Vir: EBM-Pabst.*

Možnosti za zmanjšanje porabe elektrike so poleg skrbne hidravlične zasnove sistema za odvod toplote nadzor ventilatorjev v hladilnih stolpih in uporaba toplote na srednjem temperaturnem nivoju. Nekateri proizvajalci solarnih hladilnih naprav in distributerji sistemov že odgovarjajo na ta problem z razvojem primernih strategij upravljanja hladilnih stolpov, npr. predstavljeno v [Clauß et al., 2007], [Kühn et al., 2008]. Opazen je tudi napredek na trgu solarnih hladilnih sistemov, kjer so nekateri dobavitelji začeli ponujati komplete, ki vsebujejo kompatibilne hladilne naprave in hladilne stolpe ter periferne hidravlične komponente. Primer je prikazan na Sliki 3.10.



Slika 3.10 *Primer dveh kompletov solarnih hladilnih sistemov, ki jih ponujajo dobavitelji sistemov. Običajno vsebujejo hladilno napravo, ustrezno enoto za odvod toplote in nekaj hidravličnih komponent. Vir: SolarNext AG.*

Druga možnost je uporaba zemeljskega cevnega prenosnika toplote za odvod toplote. S to tehnologijo se poraba električne energije efektivno zmanjša, saj v tem primeru nimamo ventilatorjev. Realiziran sistem, ki uporablja to tehnologijo je predstavljen v [Núñez et al., 2008].
Naprednejši pristop, ki je trenutno v fazi preizkušanja v pilotnem projektu je integracija latentnega hranilnika toplote v sistem odvoda toplote. Latentni hranilnik zmanjša potrebno električno moč saj se čez noč hranilnik pri nizkih temperaturah učinkovito regenerira. Koncept je predstavljen [Keil et al., 2007].

3.4 Sprejemniki sončne energije

Različni tipi SSE in njihova uporabnost v solarnih hladilnih sistemih so bili v glavnem predstavljeni v točki 2. Veliko podatkov o konfiguraciji in hidravlični zasnovi majhnih in velikih solarnih ogrevalnih sistemov je že na voljo načrtovalcem, ki se s tem ukvarjajo. Informacije o zasnovi in načrtovanju solarnih sistemov so na voljo na primer v [Schenke et al., 2007], [Weiss (Ed.), 2004], [VDI 6002, 2004], [DGS, 2008], [Peuser et al., 2002].
Vseeno pa večina objavljenega gradiva o konfiguracijah in načrtovanju solarnih ogrevalnih sistemov ne obravnava posebnih obratovalnih pogojev potrebnih za solarno hlajenje. V primeru, ko so SSE glavni vir toplote za delovanje solarne hladilne naprave, se mora toplotni tok iz SSE ujemati s potrebnim toplotnim tokom za delovanje hladilne naprave. Na primer, spodnja formula služi grobi oceni potrebne velikosti polja SSE za dano hladilno napravo:

$$A_{spec} = \frac{1}{G_{coll} \cdot \eta_{coll,design} \cdot COP_{design}}$$

Primer:

G_{coll} = 0.80 kW/m^2

$\eta_{coll,design}$ = 0.5 ==> A_{spec} = 3.3 m^2

COP_{design} = 0.75

Vir: SOLAIR didactic material base

kjer je

A_{spec} = specifična velikost SSE na kW hladilne moči toplotno gnane hladilne naprave [m²/kW$_{cold}$]

G_{coll} = sončno obsevanje na površino SSE [kW/m²]

$\eta_{coll,design}$ = izkoristek SSE pri projektnih pogojih (temp. pogon. medija) [-]

COP_{design} = toplotni COP hladilne naprave pri projektnih pogojih [-]

Poudariti je potrebno da je to zelo groba ocena, ki ne upošteva realnih podatkov o komponentah sistema, pogojev na kraju postavitve in delovanja z delno obremenitvijo. Kljub vsemu pa lahko rečemo, da je pri veliko obstoječih sistemih, kjer je toplota iz solarnega sistema glavni vir, specifična velikost polja SSE A_{spec} = 3 do 4 m²/kW. Poglejmo še tipične volumske pretoke tople vode za toplotno gnane hladilne naprave. Kot primer je na sliki 3.9 prikazana tabela tehničnih podatkov za absorpcijsko hladilno napravo Suninverse. Nazivni pretok grelnega medija je 1,2 m³/h in pri nazivni hladilni moči 10 kW ter COP je 0,75, je temperaturna razlika med vstopom in izstopom grelnega medija v hladilnik 9 K. To se dobro ujema s temperaturno razliko v SSE, ki je pri veliko sistemih 10 K ali manj.

specifications		unit	suninverse	
			operation with fan-coils	operation with ceiling
refrigerating capacity nominal/maximal		kW	8,8 / 11,7	10 / 15,8
		USRT	2,5 / 3,3	2,8 / 4,5
		BTU/h	30026 / 39932	34120 / 53925
chilled water circle	temperature nominal/maximal (out - in)	°C	6-12	15-18 / 15-20
	mass flow nominal/maximal	m³/h	1,3 / 1,7	2,9
	internal pressure drop	mbar	350	
	connection		1 ½" outside thread, flat sealing	
hot water-circle	temperature nominal/maximal (in)	°C	85 / 95	75 / 95
	mass flow nominal/maximal	m³/h	1,2	1,2
	internal pressure drop	mbar	200	
	connection		1 ¼" outside thread, flat sealing	
cold water-circle	temperature nominal/maximal (in - out)	°C	35-27 / 36-27	35-27 / 39-27
	mass flow nominal/maximal	m³/h	2,6	2,6
	internal pressure drop	mbar	320	
	connection		1 ½" outside thread, flat sealing	
electrical connection	voltage	V	230 V ~ 1 ph 50Hz	
	solution pump	W	70	
	refrigertion pump	W	50	
dimensions	height H	mm	1960	
	width B	mm	1130	
	depth T	mm	795	
weight	operation	kg	550	
	transport	kg	500	

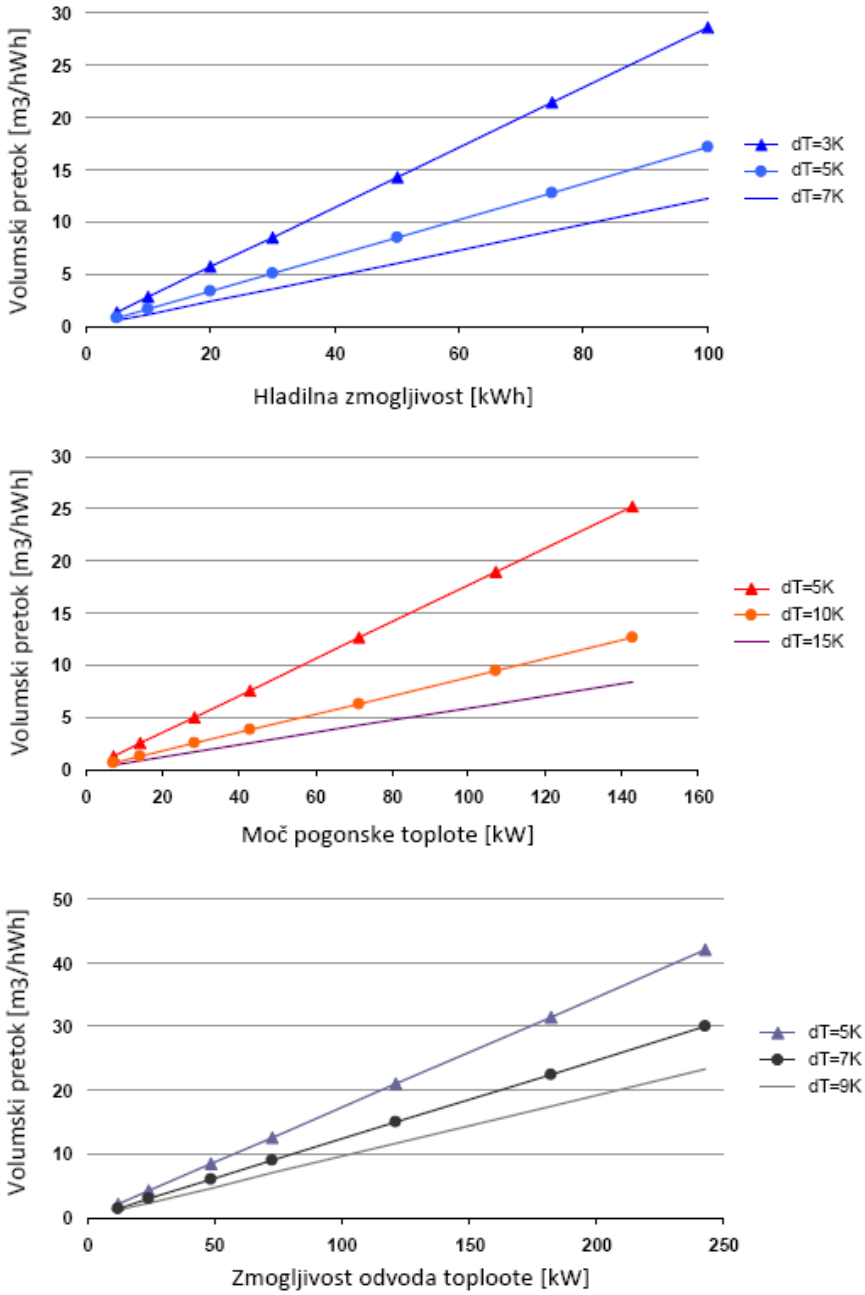
Slika 3.9 *Primer značilnih volumskih pretokov: Specifikacije absorpcijske hladilne naprave Suninverse. Vir: Sonnenklima.*

Volumski pretok, v povezavi s specifično velikostjo polja SSE iz prejšnjega primera, pomeni specifični pretok na enoto površine polja SSE 40 litrov/m². Iz tipičnih vrednosti iz tega primera, lahko sklepamo da:

- so pri solarnih hladilnih sistemih potrebne srednje do višje vrednosti pretoka skozi SEE, če hočemo zagotoviti potreben toplotni tok v pogonskem krogu hladilne naprave. Solarni sistemi z majhnimi volumskimi pretoki medija niso primerni;
- pomožni hranilnik toplote med SSE in absorpcijsko hladilno napravo pomaga premostiti kratka časovna obdobja, ko je dobava toplote iz SSE manjša, da se hladilni proces ne prekine. Ujemanje masnih pretokov je ob tem še vedno potrebno;
- temperaturna razlika med dovodom in povratkom iz hladilne naprave je običajno majhna (med 5 in 10 K). To dejstvo, v povezavi z relativno velikim volumskim pretokom kaže na to, da je razslojevanje v hranilniku toplote majhno. V bistvu se pomožni hranilnik toplote vede bolj kot mešalna posoda, ki prenaša energijo z SSE na hladilni sistem, kot pa posoda

za razslojevanje. Posledično je temperaturna razlika med izstopom in vstopom v SSE majhna. To je potrebno upoštevati pri hidravlični zasnovi SSE.

Slika 3.10 prikazuje pregled tipičnih masnih pretokov, kot funkcijo hladilne moči in temperaturne razlike vstop/izstop za vse tri hidravlične tokokroge solarne hladilne naprave. Pri zasnovi solarnega sistema, nas zanima predvsem volumski pretok v pogonskem tokokrogu hladilne naprave.



Slika 3.10 *Volumski pretoki v tokokrogu ohlajene vode, grelnega medija in tokokrogu odvoda toplote. Prikazano kot funkcija ustrezne toplotne moči, kjer pike ponazarjajo ustrezne podatke pri COP je 0,7. Obravnavane so tri različne temperaturne razlike ΔT za vsak tokokrog. Izračuni veljajo za vodo brez dodatkov v vseh treh tokokrogih. Vir: Fraunhofer ISE.*

Zelo pomembna stvar pri uporabi zelo učinkovitih SSE je visoka varnost pred pregrevanjem. V primeru, ko ni odjema toplotne energije in je sončno sevanje veliko (npr, hladilni sistem ne deluje, hranilnik je na maksimalni temperaturi, okvara črpalke), je možno da pride do uparjanja. Vse komponente sistema morajo biti načrtovane v skladu z zaščito pred pregrevanjem. Poleg tega je možen tudi razkroj tekočine,ki se pretaka skozi SSE na osnovne komponente (npr., voda,

glikol) če je v uporabi proti zmrzovalno sredstvo. Tudi zaradi tega je pomembna pozornost pri izbiri SSE. Eksperimentalno in teoretično gradivo je povzeto v [Rommel et al., 2007], [Hausner, Fink, 2002].

Ukrepi, ki se nanašajo na varnost pred pregrevanjem so na primer

- sistem za odvod toplote v sili. Potrebno je, da zagotovimo, da tak sistem deluje tudi v primeru izpada električnega omrežja;
- sistem z izpraznitvijo SSE (drain-back). V tem primeru ob vsaki zaustavitvi črpalke vsa tekočina odteče iz SSE. Potrebna je posebna zasnova sistema. Ta tehnologija uspešno preprečuje stagnacijo in zmrzovanje medija za prenos toplote. Varnostne komponente kot so raztezna posoda, odzračevalni in varnostni ventili v solarnem tokokrogu niso potrebni, je pa potrebna posebna zasnova sistema (vmesna majhna posoda ter pravilna povezava SSE ter padci cevi). V tem primeru prenosni medij (voda ali voda z dodatkom glikola) v celoti odteče iz SSE vsakič ko se pogonska črpalka zaustavi. Izkušnje z novejšim solarnim hladilnim sistemom moči 7.5 kW_{hlad} (adsorpcijska naprava proizvajalca Sortech) s 25 m² ravnih dvojno zastekljenih SSE v Perpignanu postavljen v letu 2008 potrjuje, da takšna zasnova sistema ne vpliva na delovanje SSE in na porabo elektrike za pogon črpalke primarnega kroga solarnega sistema, ki se uporablja za ogrevanje in hlajenje;
- Voda brez dodatkov kot prenosni medij. Ta koncept ne pomaga k izogibanju stagnaciji, so pa posledice le te milejše, saj se ustvari 'samo' vodna para. Taki sistemi zahtevajo v centralni Evropi ob nevarnosti zmrzovanja posebno pozornost pri izolaciji cevi in nadzoru delovanja primarnega kroga solarnega sistema, poleg tega pa so uporabni le v kombinaciji z vakuumskimi SSE. Primarni krog solarnega sistema je zaprt. V nekaterih primerih v primarnem krogu niti ne potrebujemo prenosnika toplote, kar zmanjšuje stroške investicije in nekoliko izboljša izkoristek solarnega sistema.

V vsakem primeru je potrebno ovrednotiti dodatno potrebo po električni energiji ob uporabi teh ukrepov. Potrebno je poudariti, da dobro zasnovani sistemi lahko proizvedejo v povprečju > 50 kWh toplote na kWh električne energije, ki je potrebna za pogon črpalk.

Reference

[Clauß et al., 2007]
V. Clauß, A. Kühn, F. Ziegler: A new control strategy for solar driven absorption chillers. Proceedings of the 2nd International Conference Solar Air-Conditioning, Tarragona, Spain, 2007

[Kühn et al., 2008]
A. Kühn, J.L. Corrales, F. Ziegler: Comparison of control strategies of solar absorption chillers. Proceedings of the EuroSun2008, Lisbon, Portugal, 2008

[Núñez et al, 2008]
T. Núñez, B. Nienborg, Y. Tiedtke: Heating and cooling with a small scale solar driven adsorption chiller combined with a borehole system. Proceedings of the EuroSun2008, Lisbon, Portugal, 2008

[Keil et al., 2007]
C. Keil et al.: Design and operation of a solar heating and cooling system with absorption chillller and latent heat storage. Proceedings of the 2nd International Conference Solar Air-Conditioning, Tarragona, Spain, 2007

[Schenke et al., 2007]
A. Schenke, H. Drück, R. Croy, H.P. Wirth: Analyse und Evauluierung großer Kombianlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung. Abschlussbericht zum BMU-Verbundprojekt: Systemuntersuchung großer solarthermischer Kombianlagen. FKZ 0329268B. November 2007

[Weiss (Ed.), 2004]
W. Weiss (Editor): Solar heating systems for houses – A design handbook for solar combisystems. Pukblished within the IEA Solar Heating and Cooling Programme, Task 26 (Solar Combisystems). ISBN 1902916468, 2004

[VDI 6002, 2004]
VDI-Guideline 6002: Solar heating for domestic water – General principles, system technology and use in residential building; September 2004

[DGS, 2008]
Leitfaden solarthermische Anlagen (Planning & installing solar thermal systems). Published by Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V. 8ht edition, 2008. www.dgs-berlin.de

[Peuser et al., 2002]
F. Peuser et al.: Solar thermal systems – successful planning and construction. Solarpraxis Berlin, ISBN 978-3-934595-24-8, 2002

[Rommel et al., 2007]
M. Rommel et al.: Entwicklung von Techniken zur Beherrschung des Stillstandsbetriebs. Schussbericht zum Teilprojekt StagSim im Verbundprojekt Systemuntersuchungen großer solarthermischer Kombianlagen. 2007. www.solarkombianlagen-xl.info

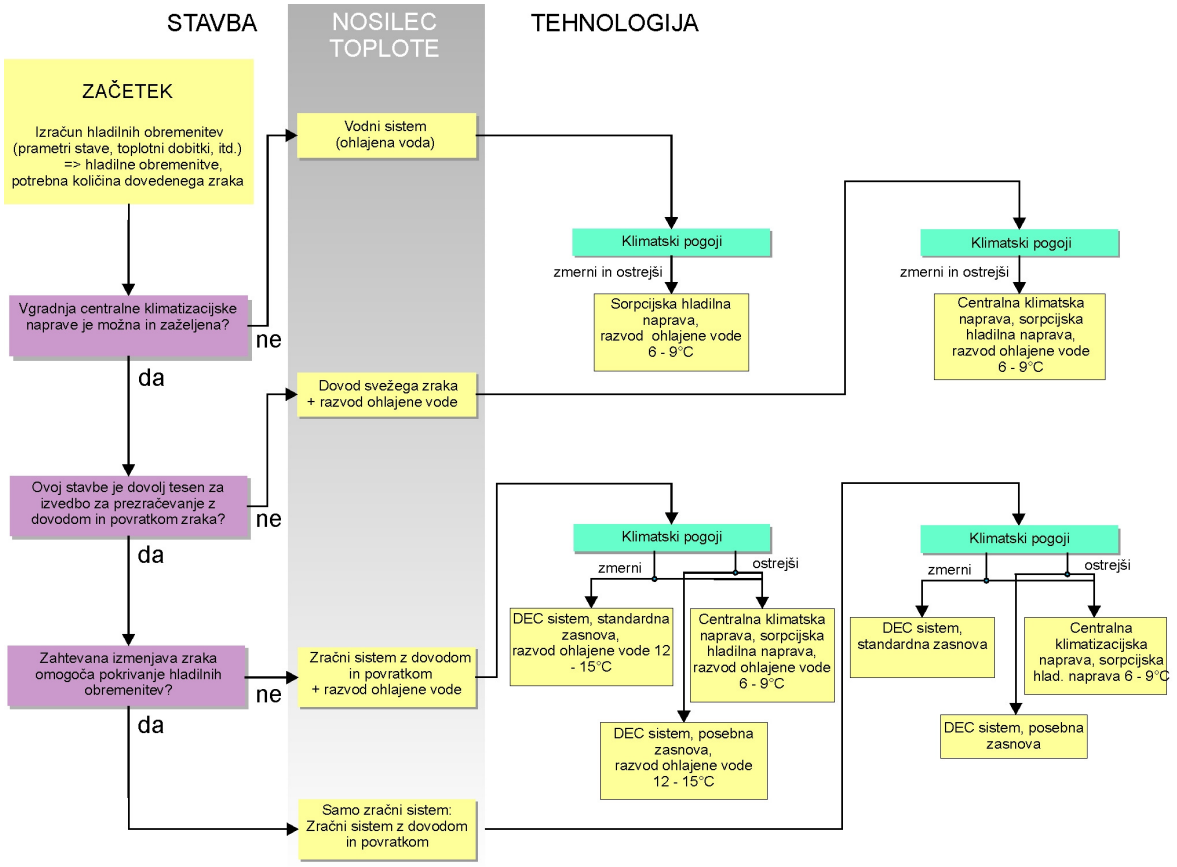
[Hausner, Fink, 2002]
R. Hausner, Chr. Fink: Stagnation behaviour of solar thermal systems. A Report of IEA-SHC – Task 26, Solar Combisystems. November 2002.
www.iea-shc.org/publications/task26/index.html

4 Izbira primerne tehnologije

V drugem poglavju so bile na kratko predstavljene različne tehnologije solarnega hlajenja in klimatizacije. Izbira primerne tehnologije je prvi korak v procesu načrtovanja in za načrtovalce in odgovorne ljudi, ki sprejemajo odločitve v gradbenem sektorju in jim tehnologija solarnega hlajenja ni poznana je pomembna podpora v tej fazi. Zaradi tega razloga je bila v okviru Task 25 'Solar-Assited Air-Conditioning of Buildings [IEA-SHC Task 25] narejena izbirna shema, na spletni strani pa je na voljo tudi dokument z smernicami Task 25 [Henning, 2004].
Osnovni pristop k izbiri tehnologije je prikazan v preprostih shemah izbire, prikazanih v nadaljevanju, začenši z pregledom celotne izbirne sheme na Sliki 4.1 in predstavitev različnih možnosti izbire v opisih ki sledijo.
Osnovna predpostavka pri shemah je, da je potrebno nadzorovati temperaturo in vlago v klimatiziranih prostorih. Predpogoj je izračun hladilnih obremenitev na osnovi projektnih pogojev in minimalni zahtevani izmenjavi zraka v prostorih. V odvisnosti od hladilnih obremenitev in v skladu z željami uporabnikov oziroma lastnikov je mogoča izvedba bodisi samo zračnega ali samo vodnega sistema ali pa kombiniran zračno/vodni sistem za odvod toplote in vlage iz stavbe. Posledično je potem glavna tehnična odločitev, ali je minimalna zahtevana stopnja izmenjave zraka dovolj da pokrije tudi hladilne obremenitve (senzibilne in latentne). Običajno je temu tako v prostorih, kjer je potrebna velika stopnja prezračevanja, kot na primer v predavalnicah in kongresnih dvoranah. Kakorkoli, pa je zračni sistem z dovodom in povratkom smiseln le pri dobro zasnovanih zrakotesnih stavbah, v nasprotnem primeru so izgube zaradi netesnosti stavbe prevelike. V primerih zračnih sistemov z dovodom in povratkom so primerni tako sušilno-hlapilni zračni solarni hladilni sistemi, kot tudi sistemi s sorpcijskimi hladilnimi napravami; v vseh drugih primerih, lahko uporabimo le sorpcijske hladilne naprave, če želimo uporabiti toploto iz solarnega sistema kot pogonski vir.

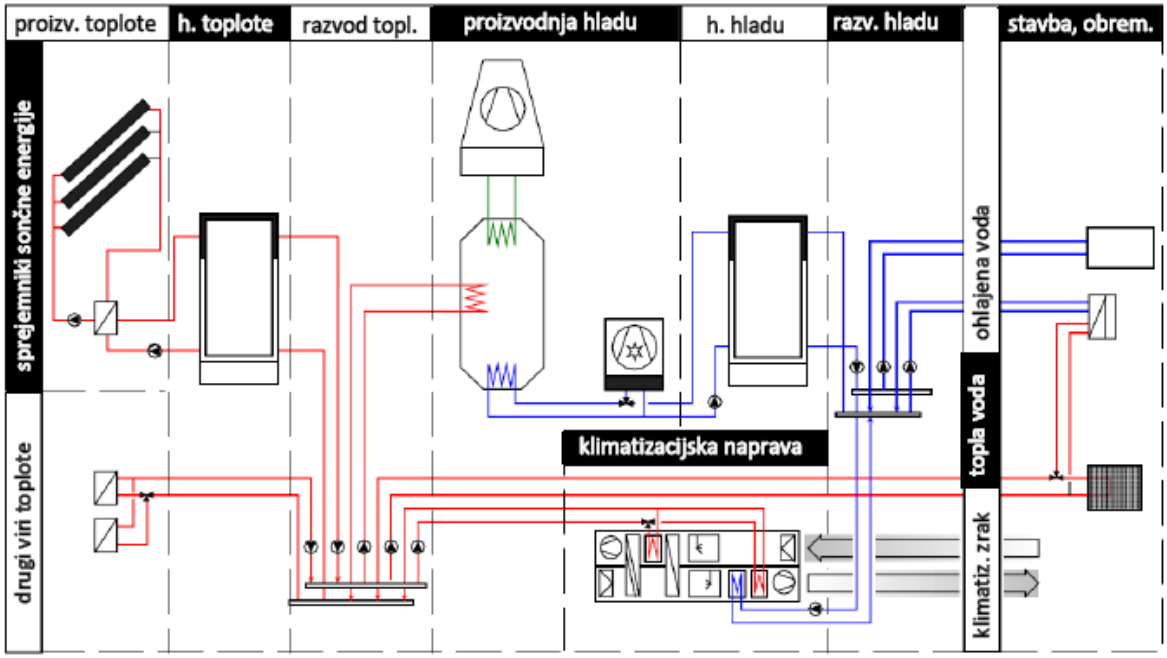
Postavke načrtovanja, ki niso zajete v tej izbirni shemi so

- potreba po in izbira pomožnega sistema za proizvodnjo hladu ali možnost avtonomnega solarnega delovanja solarnega hladilnega sistema;
- odstopanje od pogojev ugodja, npr., dovoljena določena odstopanja od želenih parametrov zraka;
- finančne postavke;
- razpoložljivost vode za navlaževanje zraka ali za hladilne stolpe;
- instalacije, ki pokrivajo potrebo po ogrevanju v zimskem času;
- vpliv naprav v prostoru na udobje: investicija v konvektorje je mogoče najnižja, ampak moramo zagotoviti odtok kondenzata če hočemo razvlaževati zrak; sistemi, kot so hladilni stropovi in gravitacijsko hlajenje zahtevajo višjo investicijo, ampak zagotavljajo večje udobje.



Slika 4.1 *Osnovna izbirna shema za izbiro tehnologije za hlajenje ki vključuje uporabo solarnega sistema za pridobivanje toplote. Najnižji zahtevani njivo hladilne vode, naveden v veji tehnologija se določi glede na to, ali je razvlaževanje zraka izvedeno s konvencionalno tehniko (hlajenje zraka pod točko rosišča), ali pa z sušilno-hlapilnim procesom. V drugem primeru je lahko temperatura ohlajene vode - če to sploh potrebujemo – višja, saj mora pokrivati le senzibilne obremenitve. Vir: Fraunhofer ISE.*

Osnovna shema sistema, ki uporablja sušilno-hlapilni zračni hladilni proces in sorpcijsko napravo za hlajenje vode je prikazan na sliki 4.2. Solarna toplota se dovaja obema sistemoma. Shema vključuje tudi različne opcije pomožnih sistemov: na strani dovoda toplote različne vire toplote (npr., plinski gorilnik, povezava z sistemom daljinskega ogrevanja ali kogeneracijo, itd.) na strani ohlajene vode pa kompresorsko hladilno napravo. Realiziran sistem podprt s solarno termalnim sistemom običajno vsebuje podsistem prikazan na tej sliki glede na rešitve, izbrane z upoštevanjem izbirne sheme. Ti podsistemi so podrobneje predstavljeni v nadaljevanju.



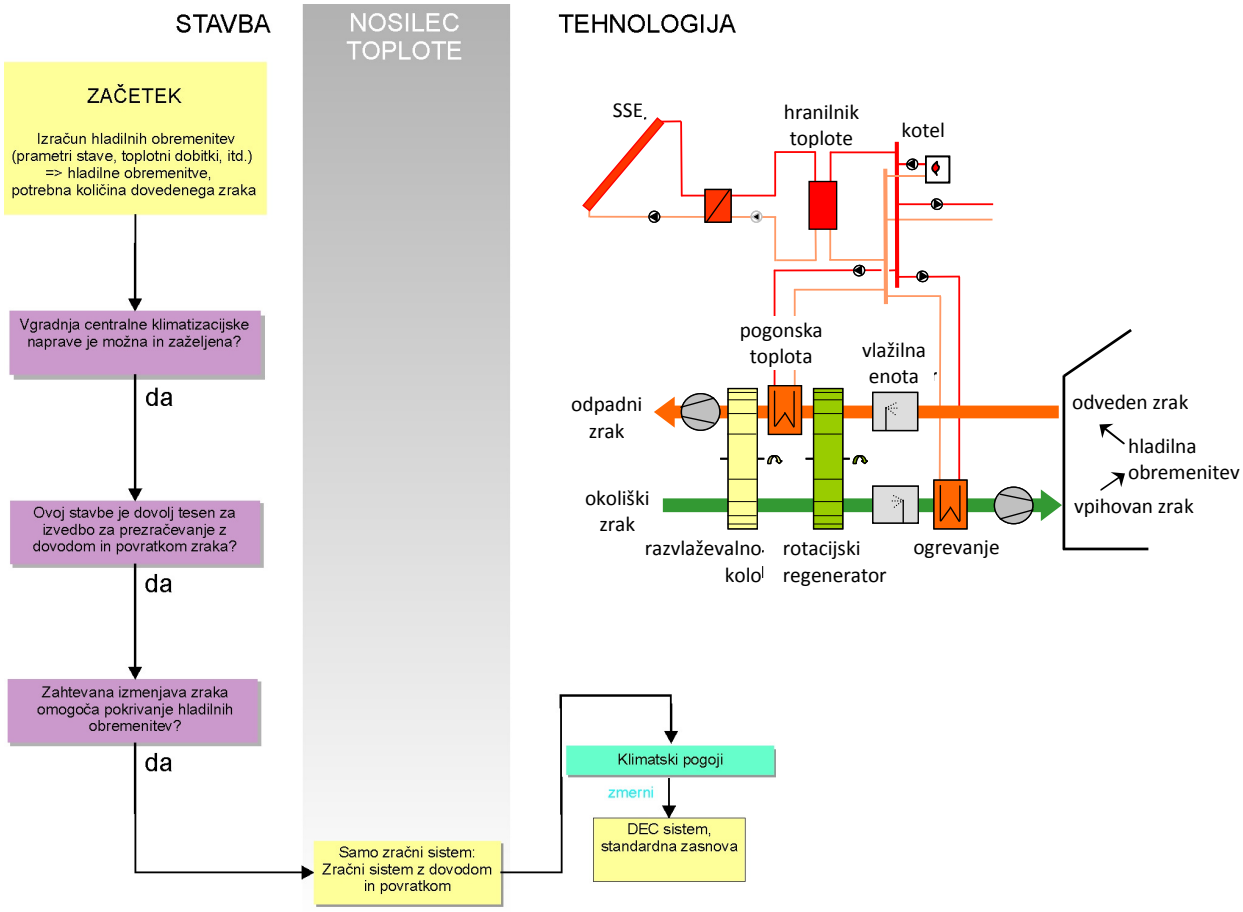
Slika 4.2 *Osnovna shema celotnega sistema, ki vključuje sušilno-hlapilno hladilno tehnologijo in sorpcijsko napravo za hlajenje vode. Da zagotovimo hlajenje v klimatiziranih prostorih so na voljo različne možnosti: sistem s konvektorji, ki se lahko uporabljajo tako poleti kot pozimi, sevalni hladilni sistem, kot na primer hladilni stropovi, ali pa prezračevalni sistem, ki zagotavlja svež ohlajen in razvlažen zrak. Vir: Fraunhofer ISE.*

4.1 Zračni sistemi

Smatra se, da je možna vgradnja centralnega prezračevalnega sistema z dovodom in povratkom če je zahtevana stopnja izmenjave zraka dovolj za pokrivanje senzibilnih in latentnih hladilnih obremenitev. V tem primeru je možna uporaba samo zračnega sistema; ni potrebe po drugi hladilni tehnologiji. Predpogoj pa je zelo zrakotesna in dobro načrtovana stavba z ukrepi za zmanjšanje hladilnih obremenitev, kot so na primer uporaba opreme za zmanjševanje porabe energije, učinkovito senčenje, zmanjšanje umetne osvetlitve s koncepti izkoriščanja dnevne svetlobe, nočnega prezračevanja (npr., v kombinaciji s fazno spremenljivimi materiali), itd. Drug primer je kongresna dvorana z visoko stopnjo zasedenosti; v takem primeru je zahtevana količina svežega zraka lahko dovolj, da v celoti pokrije senzibilne hladilne obremenitve.

Sistem je primeren za zmerne, celinske podnebne pogoje z zmerno zunanjo vlažnostjo in temperaturo. Za take pogoje pa je primerno tudi sušilno-hlapilno hlajenje (DEC). Izbirna shema (pot) za ta primer in shema takega sistema je prikazana na sliki 4.3. Solarni sistem zagotavlja toploto za regeneracijo razvlaževalne enote in služi tudi kot podpora ogrevanju svežega zraka pozimi. Poleg tega (ni prikazano na sliki), lahko služi tudi kot podpora sevalnemu ogrevanju prostorov pozimi.

Lahko se zgodi, da je potreben pomožni vir toplote za ogrevanje v zimskem času in pa za zagotavljanje toplote za razvlaževalno enoto, v primeru, ko je na voljo premalo solarne toplote, je pa še vedno potrebno razvlaževanje.



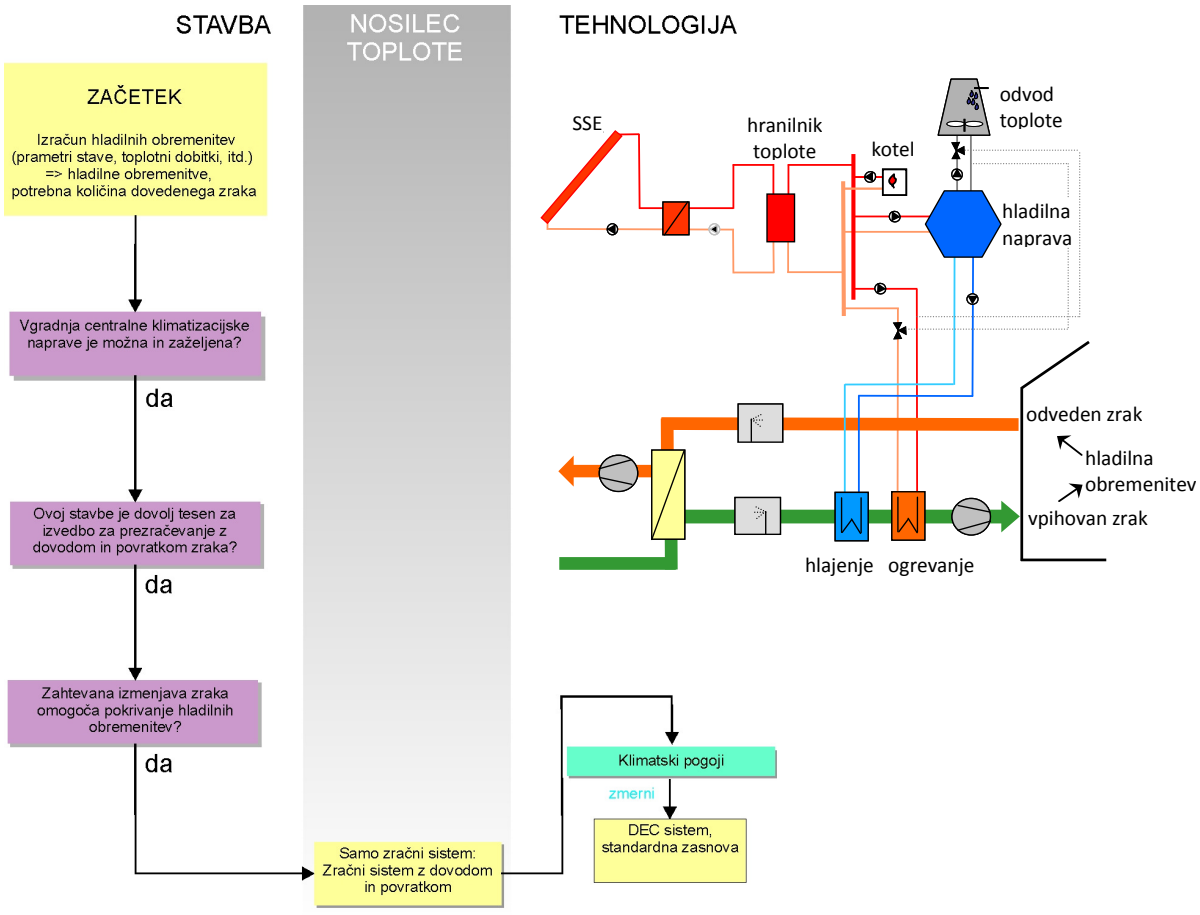
Slika 4.3 *Pot izbire za standardni sušilno-hlapilni solarni hladilni sistem (DEC) za zmerne klimatske pogoje in osnovna shema sistema. Prikazana shema je shema DEC hladilnega sistema z trdim sorpcijskim sredstvom – kolesom, se pa lahko uporablja tudi sistem z tekočim sorpcijskim sredstvom. Vir: Fraunhofer ISE.*

V principu imamo na voljo dve strategiji delovanja:

- izključno solarno hlajenje v poletnem času. V tem primeru se za regeneracijo sorpcijske enote uporablja samo solarna toplota. Ta način delovanja je primeren takrat, ko so hladilne obremenitve pretežno posledica zunanjih toplotnih dobitkov in časovni potek obremenitev dobro sovpada z razpoložljivostjo sončnega obsevanja. Seveda je popolno ujemanje nemogoče. Posledično je treba sprejeti možna razhajanja med želenimi in dejanskimi stanji zraka v prostoru. Do neke mere lahko te 'luknje' sončnega obsevanja premostimo s hranilniki. Hranilnik je lahko hranilnik tople vode, kot je prikazano na sliki 4.3, ali pa v primeru sistema s tekočim sorpcijskim sredstvom kemični hranilnik za koncentrirano in razredčeno raztopino;
- hlajenje z asistenco solarnega sistema. Ta način delovanja je potreben takrat, ko se potrebe stavbe ne ujemajo dobro z razpoložljivostjo sončnega obsevanja ali pa se morajo stanja zraka v prostoru natančno ujemati z želenimi vrednostmi. V tem primeru pomožni sistem (npr.,plinski grelnik, povezava z dalinjskim ogrevanjem, ipd.) zagotavlja pogonsko toploto za delovanje v pogojih zmanjšane razpoložljivosti sončnega obsevanja. Uporaba pomožnega sistema se lahko zmanjša z hranilniki toplote ali kemične energije v primeru tekočega sorpcijskega sredstva pri zgoraj omenjenih sistemih.

Za to tehnologijo so dovolj kvalitetni ravni zastekljeni SSE, ki zagotavljajo potrebno temperaturo grelnega medija med 55°C in 70°C. Pri aplikacijah kjer ni potrebe po hranilnikih toplote (npr., sistemih s tekočim sorpcijskim sredstvom z hranilniki raztopine, ali dobrim ujemanjem hladilnih obremenitev in razpoložljivosti solarne toplote ali pa uporabi glede na dnevno razpoložljivost

sonca), lahko uporabimo tudi toplozračne SSE. Primer takega sistema je predstavljen v [Hindenburg et al., 2005]
Konvencionalna klimatizacijska naprava z dovodom in odvodom zraka ter z hlajenjem in razvlaževanjem svežega zraka je tudi možna tako v zmernih kot tudi v ostrejših klimatskih pogojih z višjimi temperaturami in vlažnostjo zraka. Pri tej konfiguraciji se solarna toplota uporablja za pogon sorpcijske hladilne naprave, ki je povezana z toplotnim izmenjevalcem voda/zrak v kanalu svežega dovodnega zraka. Taka tehnična rešitev je prikazana na sliki 4.4. V tem primeru je klimatizacijska naprava opremljena s hlapilnim hlajenjem odpadnega-zavrženega zraka, ki v kombinaciji z rekuperacijo toplote omogoča pred-hlajenje svežega zraka.



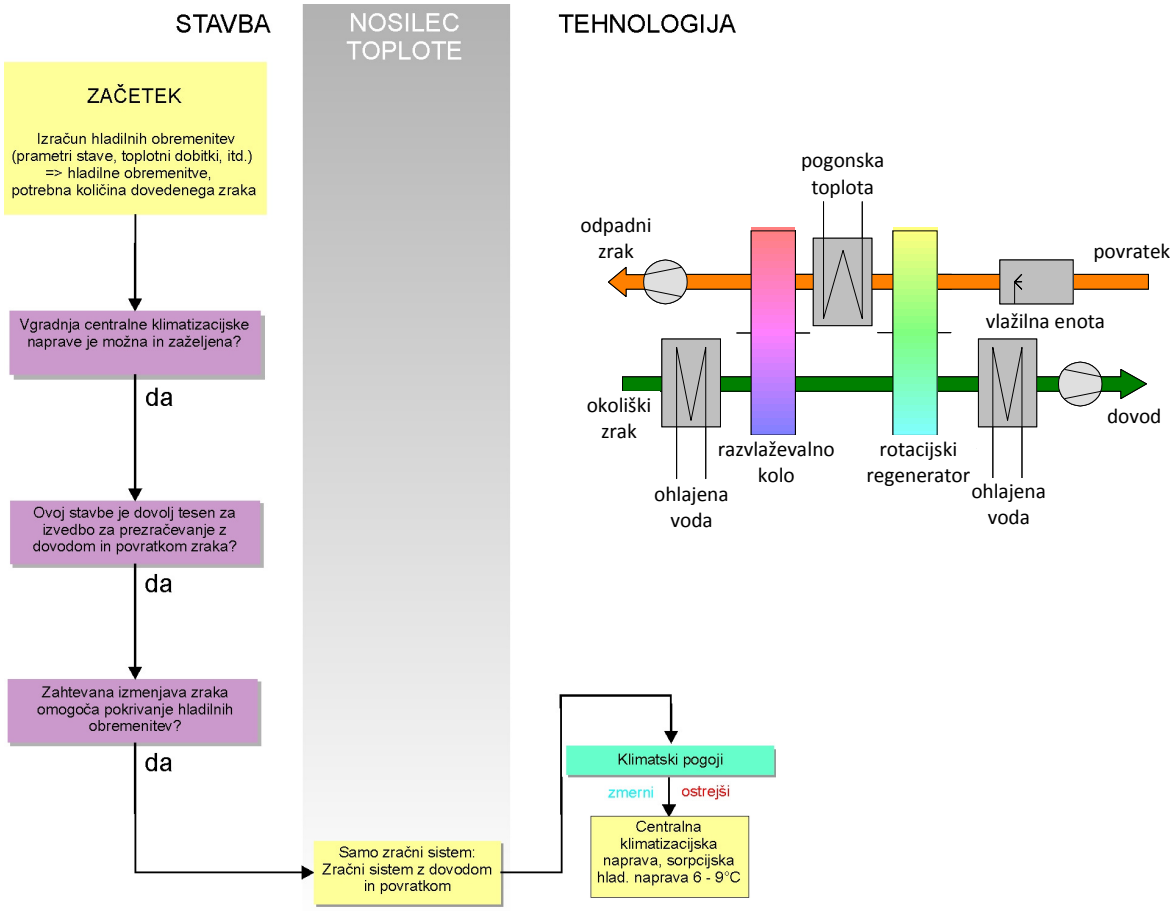
Slika 4.4 *V zmernih in v ostrejših klimatskih pogojih se lahko uporabi konvencionalna klimatizacijska naprava v kombinaciji s sorpcijsko hladilno napravo. Slednja za delovanje uporablja solarno toploto in je lahko absorpcijska ali adsorpcijska. Vir: Fraunhofer ISE.*

Pri konvencionalnih klimatizacijskih napravah je pogosto potrebno sveži zrak neposredno po razvlaževanju z zelo hladno vodo v prenosniku toplote voda/zrak segrevati, da se izognemo prenizki temperaturi (npr., pod 18°C). V principu se lahko v ta namen uporabi voda iz krogotoka odvoda toplote s to prednostjo, da ne potrebujemo dodatnega vira toplote in po drugi strani zmanjšujemo rabo energije za odvod toplote. Ta možnost je na sliki označena z sivimi prekinjenimi črtami med krogotokom odvoda toplote in krogotokom za ogrevanje svežega zraka.

Tehnologijo SSE izberemo glede na uporabljeno tehnologijo hlajenja. Pri absorpcijskem hlajenju so to zelo kvalitetni ravni SSE ali pa vakuumski SSE, med tem ko so pri adsorpcijski tehnologiji dovolj zelo kvalitetni ravni SSE. Za končno določitev tipa SSE je potrebno upoštevati razpoložljivost sončnega obsevanja na kraju postavitve sistema in razpoložljivo površino za montažo SSE.

V ekstremnejših podnebnih pogojih običajni sušilno-hlapilni zračni solarni hladilni sistem pogosto ni dovolj za doseganje želenih stanj svežega zraka glede na zunanje temperature in vlago. Primernih je nekaj posebnih konfiguracij sušilnega hlajenja (DEC), ena od njih je kombinacija sušilno-hlapilnega hlapilnega hladilnega procesa v kombinacij z sistemom z ohlajeno vodo. Skica take konfiguracije je prikazana na sliki 4.5. Razvlaževanje se v glavnem zagotavlja s sorpcijskim kolesom, razvlaževalni cikel pa vzdržujemo s pomočjo solarne toplote, s katero regeneriramo sorpcijsko enoto. Sistem z ohlajeno vodo se uporablja za dodatno pred-razvlaževanje in pred-hlajenje (prenosnik toplote pred razvlaževalnim kolesom) in za kasnejše hlajenje svežega zraka (drugi prenosnik toplote v kanalu dovoda svežega zraka). Ohlajeno vodo lahko proizvajamo npr. z konvencionalno kompresorsko hladilno napravo ali pa s absorpcijsko ali adsorpcijsko hladilno napravo. Prednost te tehnične rešitve je, da je potrebno hladilno vodo zagotavljati na relativno visokem temperaturnem nivoju (> 12°C), zaradi visoke točke rosišča v ekstremnejših klimatskih pogojih (za pred-razvlaževanje) in zaradi razvlaževanja, ki ga v glavnem zagotavljamo s sušilno-hlapilnim solarnim hladilnim sistemom. Rezultat tega je ugodno in učinkovito delovanje hladilne naprave.

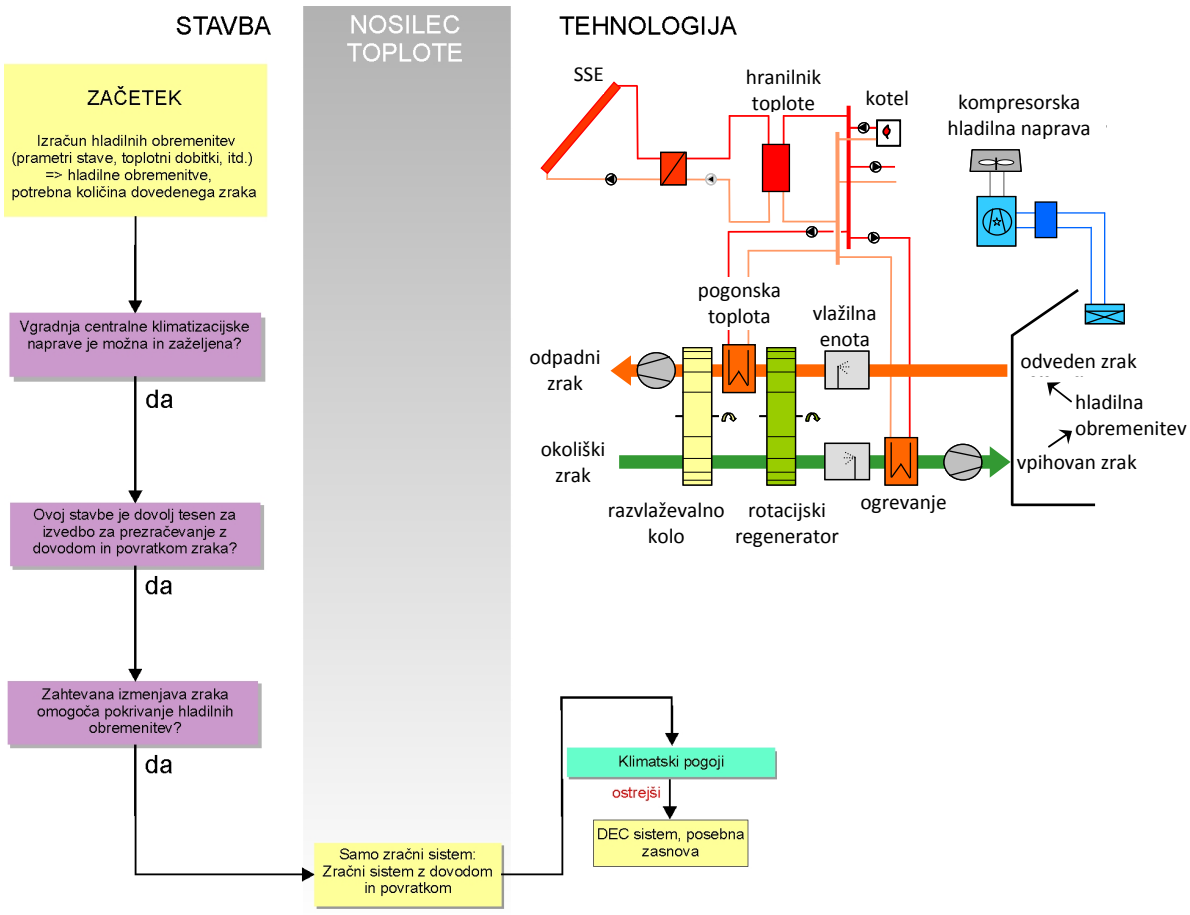
Taka konfiguracija sistema, ki je bila opisana v zgornjem primeru in predstavljena na sliki 4.5 je bila realizirana na demonstracijskem sistemu v Palermu, Italija. S to razliko, da se regeneracijska toplota ne proizvaja s solarnim sistemom, temveč s kogeneracijsko napravo. Proizvedena elektrika se sočasno uporablja za pogon kompresorske hladilne naprave. V principu je delovanje takih sistemov možno tudi z solarno toploto. Sistem iz Palerma in druge posebne izvedbe sušilno-hlapilnih hladilnih sistemov (DEC) so podrobneje predstavljene v [Henning et al., 2005].



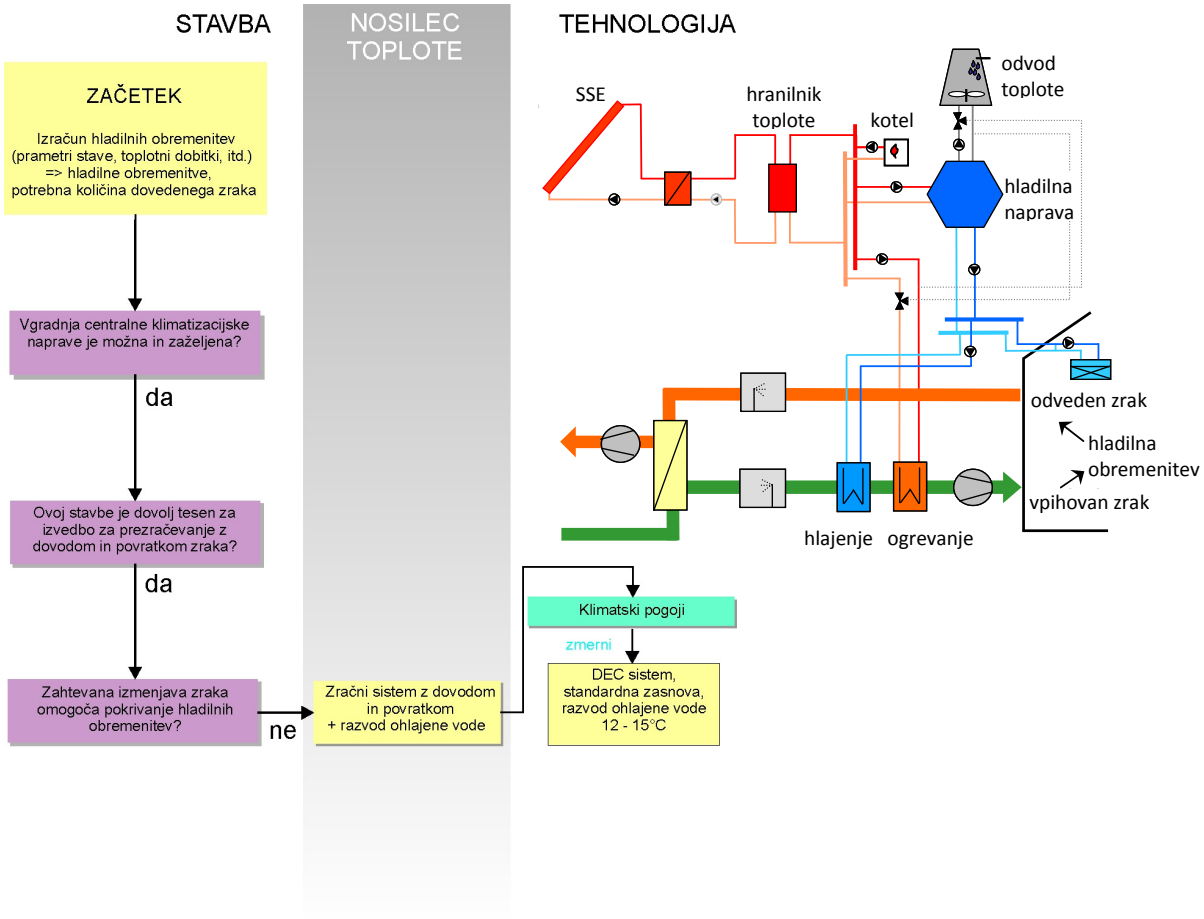
Slika 4.5 *V podnebnih pogojih z višjo vlago in višjimi temperaturami okoliškega zraka je običajno potrebna posebna konfiguracija sistema, če je vključen sušilni proces. V tem primeru je glavnina razvlaževanja izvedena s sorpcijskim procesom, ki koristi solarno toploto. Ker pa v ekstremnih podnebnih pogojih ne moremo vedno doseči želenega stanja svežega zraka lahko uporabimo dodatno pred-hlajenje in pred-razvlaževanje ter končno hlajenje na želeno temperaturo s pomočjo ohlajene vode. Vir: Fraunhofer ISE.*

4.2 Zračni sistem + razvod ohlajene vode

Slika 4.6 prikazuje pot izbire za situacijo, ko stavba izpolnjuje vse pogoje za izvedbo zračnega klimatizacijskega sistema (dovod/odvod zraka), a je število izmenjav zraka premajhno, da bi pokrilo vse senzibilne hladilne obremenitve. Tak primer so recimo pisarniške stavbe z normalno stopnjo zasedenosti, ampak velikimi notranjimi dobitki zaradi opreme, zunanjimi dobitki skozi velike steklene fasade, ipd. Predpostavljamo, da se stavba nahaja v zmernih podnebnih pogojih, kar pomeni, da lahko uporabimo DEC sistem, ki je zmožen pokriti vse latentne hladilne obremenitve. V tem primeru se lahko uporabi standardni DEC sistem v kombinaciji z omrežjem ohlajene vode za hlajenje prostorov, bodisi z hladilnimi stropovi ali pa kovektorji (brez potrebe po razvlaževanju). Ločeno pokrivanje latentnih obremenitev (z DEC sistemom) in senzibilnih hladilnih obremenitev s konvencionalno hladilno napravo omogoča učinkovito delovanje hladilnega sistema, saj ta proizvaja hladilno vodo pri višjih temperaturah (tipično > 12°C).
Solarna toplota se uporablja za regeneracijo sorpcijske enote, kot je na primer. razvlaževalno kolo. V principu je možen tudi sistem s tekočim sorpcijskim sredstvom namesto sistema s trdnim sorpcijskim sredstvom, ki je na sliki. V obeh primerih je potrebna temperatura za regeneracijo < 75°C za večino materialov, ki se uporabljajo v sorpcijskih enotah. Od tod sledi, da so v večini primerov dovolj ravni zastekljeni SSE dobre kvalitete.

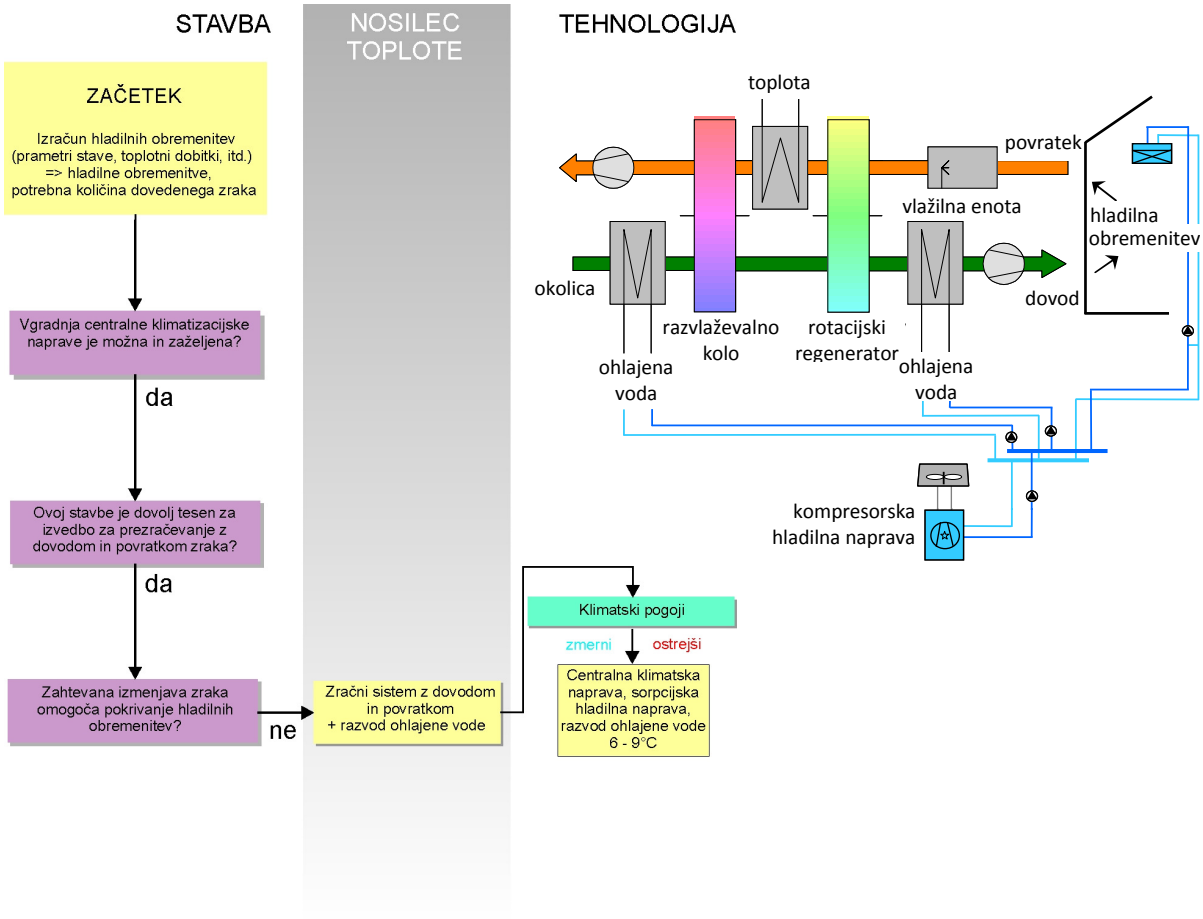


Slika 4.6 *V tem primeru je možna uporaba zračnega sistema, ki pa ni sposoben pokrivati celotnih hladilnih obremenitev. V zmernih klimatskih pogojih je možna uporaba standardnega sušilnega hlapilnega hladilnega procesa (DEC) ostale senzibilne hladilne obremenitve pa pokriva dodatno hladilno omrežje v stavbi z ohlajeno vodo. V tem primeru se solarna toplota uporablja kot pogonski vir za sušilno hlapilno hlajenje . Vir: Fraunhofer ISE.*



Slika 4.7 *Tako v zmernejših kot v ostrejših klimatskih pogojih se lahko uporabi običajna klimatizacijska naprava v kombinaciji s sorpcijsko hladilno napravo, ki proizvaja ohlajeno vodo. Solarna toplota se uporablja za pogon hladilne naprave, bodisi absorpcijske ali adsorpcijske. Poleg konfiguracije prikazane na sliki 4.4, se uporablja ohlajena voda za oskrbo decentraliziranih hladilnih enot (konvektorjev, hladilnih stropov, ipd.), ker v tem primeru pretok zraka ne more pokrivati vseh senzibilnih hladilnih obremenitev. Ohlajena voda mora imeti nizko temperaturo zaradi potrebe po razvlaževanju svežega zraka. Vir: Fraunhofer ISE.*

Za isto izbirno pot je na sliki 4.7 tehnična rešitev, ki je primerna za zmerne in ostrejše klimatske pogoje. Uporabljen je običajni zračni klimatizacijski sistem, pri katerem se ohlajena voda pripravlja ločeno s pomočjo solarne toplote. V primerjavi s sliko 4.4., ohlajena voda napaja tudi omrežje z decentralnimi hladilnimi enotami za pokrivanje senzibilnih hladilnih obremenitev .
Ena od možnosti za ostrejše podnebne pogoje, npr. za Mediteran, je tudi posebna konfiguracija sušilno-hlapilnega solarnega hlajenja kot je opisano zgoraj ter prikazano na sliki 4.5, ki pa prav tako vključuje omrežje z ohlajeno vodo za dodatno pokrivanje senzibilnih hladilnih obremenitev. Ta konfiguracija je predstavljena na sliki 4.8.

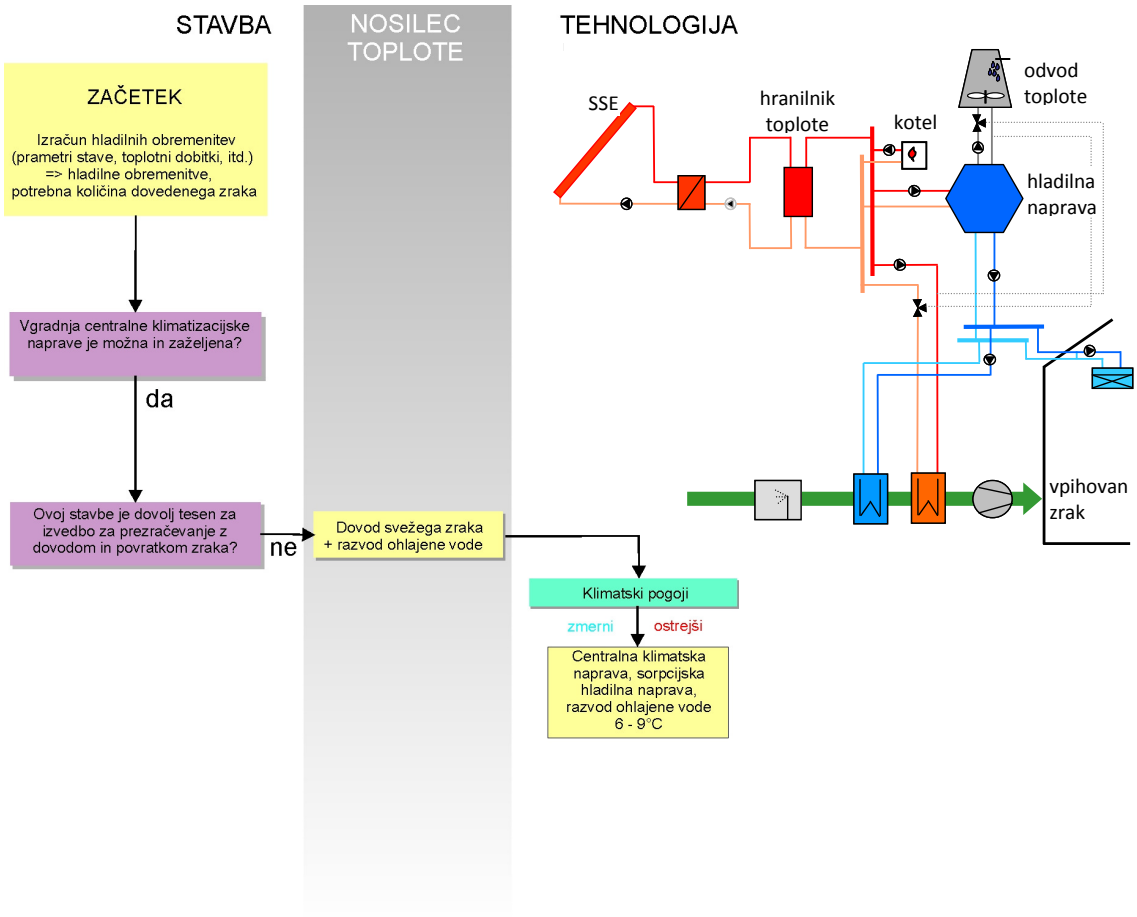


Slika 4.8 *Uporaba sušilno-hlapilnega hlajenja je v posebni konfiguraciji možna tudi v ostrejših klimatskih pogojih. Primer, ki je predstavljen je podoben konfiguraciji iz slike 4.5, s tem da je dodan še hladilni sistem z omrežjem ohlajene vode, ki služi pokrivanju preostalih senzibilnih hladilnih obremenitev. Spet je potrebna temperatura ohlajene vode relativno visoka (običajno nad > 12°C), kar omogoča njeno učinkovito proizvodnjo. Solarna toplota se uporablja za regeneracijo sorpcijskega kolesa. Vir: Fraunhofer ISE.*

4.3 Sistem z dovodom svežega zraka + razvod ohlajene vode

Smatra se, da želimo centralno klimatizacijsko napravo, vendar v stavbi, ki ni dovolj tesna je vgradnja zračnega klimatizacijskega sistema z dovodom in povratkom problematična, saj lahko pride do vdora zunanjega zraka v stavbo (tlak v stavbi nižji od tlaka zunaj stavbe) ali pa notranji zrak prehaja skozi ovoj stavbe v okolico (tlak v stavbi višji od tlaka zunaj stavbe). V tem primeru je smotrna vgradnja klimatizacijske naprave, ki samo dovaja svež zrak. Svež zrak ohlajamo in razvlažujemo, senzibilne hladilne obremenitve, ki jih ne pokrijemo s svežim zrakom pa se odvajajo z drugimi sistemi. Eden od teh je na primer lahko sistem z ohlajenimi stropovi.
Izbirna pot, ki nas pripelje do te konfiguracije in skica možnega realiziranega sistema je prikazana na sliki 4.9. Sorpcijska hladilna naprava, ki uporablja solarno toploto, zagotavlja ohlajeno vodo klimatizacijski napravi in preko vodnega omrežja tudi decentraliziranim hladilnim napravam. Razvlaževanje se izvaja v klimatizacijski napravi svežega zraka, kar pomeni, da mora biti temperatura ohlajene vode dovolj nizka. Seveda je potrebno vodo za na primer hladilne stropove dvigniti na nekoliko višji temperaturni njivo, kar se izvaja preko mešalnih ventilov. Možna je tudi uporaba povratka ohlajene vode iz klimatizacijske naprave, oziroma vodenje le tega na vstop v hladilne stropove, je pa hidravlična shema sistema veliko bolj kompleksna, zato ni prikazana na sliki. Tehnologija prikazana na sliki 4.9 je v splošnem primerna za zmerne, pa tudi za ostrejše klimatske pogoje.

Pri izbiri te tehnologije pride v upoštev tako absorpcijska, kot tudi adsorpcijska hladilna tehnologija. Izbira tipa hladilne naprave je predmet detajlnejšega načrtovalnega procesa, kjer se upošteva potek (profil) hladilnih obremenitev, točen potrebni njivo temperature hladilne vode, cena, ipd. Za pridobivanje solarne toplote so potrebni vsaj visoko kvalitetni ravni SSE.
Glede na profil hladilnih obremenitev in glede na zahtevana stanja notranjega zraka v prostorih, sta možna tako solarno avtonomno delovanje hladilnega sistema poleti, kot tudi uporaba pomožnega sistema za podporo hladilnemu procesu, ko je to potrebno.

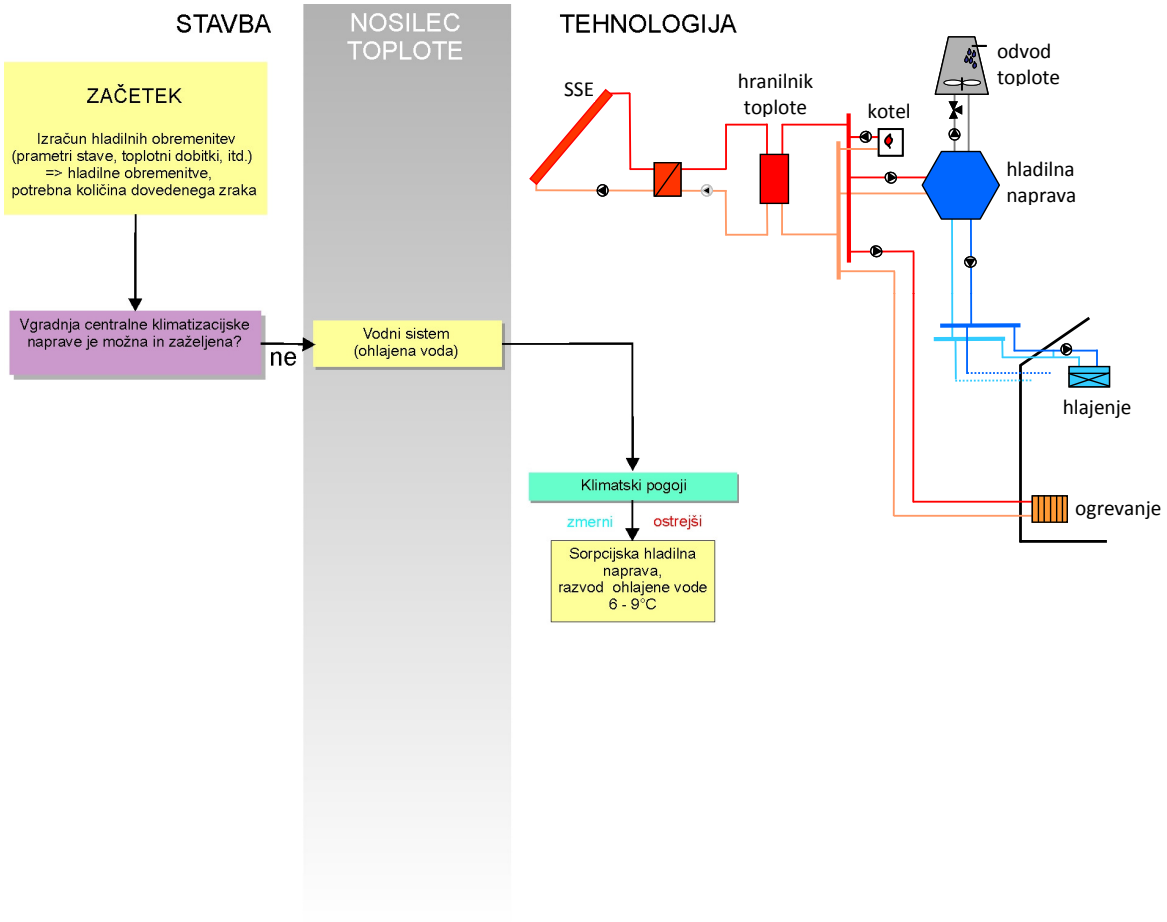


Slika 4.9 *V tem primeru je možna izbira klimatizacijskega sistema, ki samo dovaja svež zrak iz razloga slabega tesnjenja ovoja stavbe ali pa zaradi pomanjkanja prostora za celoten klimatizacijski sistem. Sušilno-hlapilno solarno hlajenje v tem primeru ni izvedljivo. Hlajenje in razvlaževanje svežega zraka, ter dodatno hlajenje če je potrebno, npr. prek ohlajenih stropov je realizirano s sorpcijsko hladilno napravo. Vir: Fraunhofer ISE.*

4.4 Vodni hladilni sistem

V primeru, da vgradnja centralne klimatizacijske enote ni upravičena, ali pa ni zaželena, je edina tehnologija za hlajenje stavbe s solarno toploto uporaba sorpcijske solarne hladilne naprave v kombinaciji z omrežjem ohlajene vode. Primer je lahko pisarniška stavba, ali pa velika stanovanjska zgradba v kateri ni dovolj prostora za omrežje prezračevalnih kanalov. Ne glede na klimatske pogoje je v tem primeru potrebno zagotavljati nizko temperaturo ohlajene vode (približno 6°C do 9°C) če želimo omogočiti razvlaževanje zraka v konvektorskih enotah. Tale tehnološka rešitev je prikazana na sliki 4.10. Hladilna naprava dobi pogonsko toploto za delovanje iz solarnega sistema. Ta mora biti sestavljen iz vsaj visoko kvalitetnih ravnih SSE, ki zagotavljajo potrebno količino toplote absorpcijski ali adsorpcijski hladilni napravi.

Če je le mogoče je potrebno solarno toploto v ogrevalni sezoni uporabiti za ogrevanje prostorov, lahko v istih konvektorskih enotah, ali pa v ločenem ogrevalnem sistemu. Uporaba solarne toplote za ogrevanje v ogrevalni sezoni, oziroma kadar koli se pojavi potreba je zelo priporočljiva za vse primere, predstavljene v tem poglavju, če tudi je bil poudarek bolj na delovanju solarnih hladilnih sistemov v poletnem času.



Slika 4.10 *Pot izbire za vodni sistem in možna tehnična izvedba. V tem primeru ni zaželena oziroma upravičena uporaba centralnega klimatizacijskega sistema. V tem primeru je rešitev sorpcijska hladilna naprava, ki oskrbuje vodno hladilno omrežje, za pogonski vir pa uporablja solarno toploto. Vir: Fraunhofer ISE.*

Reference

[IEA-SHC Task 25]
Solar-Assisted Air-Conditioning of Buildings.Task25 in the Solar Heating and Cooling Programme of the International Energy Agency (IEA). Completed in 2004.
http://www.iea-shc-task25.org/

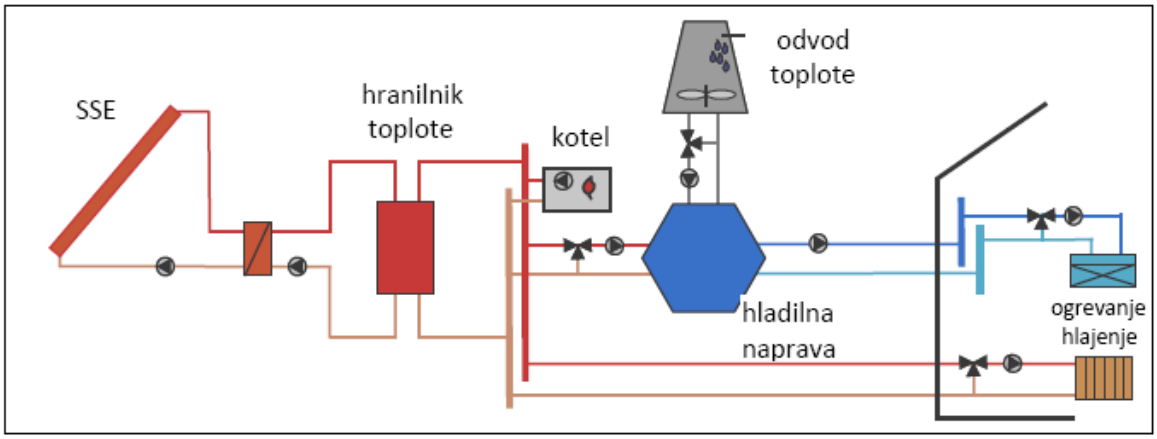
[Henning, 2004]
Hans-Martin Henning: Decision scheme for the selection of the apporporate technology using solar thermal air-conditioning. Guideline document in IEA Task 25, October 2004.

[Hindenburgv et al., 2005]
Carsten Hindenburg, Lena Schnabel, Thorsten Geucke: Solar desiccant cooling system with solar air collectors – four years of operation with 100% solar fraction in summer. Proceedings of the International Conference Solar Air Conditioning. October 2005, Bad Staffelstein, Germany.

[Henning et al., 2005]
Hans-Martin Henning, Tullio Pagano, Stefano Mola, Edo Wiemken: Micro tri-generation for indoor air conditioning in the Mediterranean climate. Applied Thermal Engineering 27 (2007), 2188-2194.

5 Manjši sistemi: sheme tipičnih aplikacij

Večina solarnih hladilnih sistemov, realiziranih do leta 2005 se uvršča v območje srednje do velike kapacitete. To je posledica takrat omejene možnosti izbire zmogljivosti hladilnih naprav, ki se je začela z minimalno 35 kW hladilne moči. Vsak sistem je bil individualno zasnovan; na voljo ni bilo nikakršnih standardnih shem sistema ali pa obojih, hidravlične in nadzorne sheme. Posledično je število različnih hidravličnih shem sistema skoraj enako, kot število pilotskih in demonstracijskih sistemov.
Jasno je, da bo za resničen preboj na trg in uspešno širjenje teh sistemov potrebna višja stopnja standardizacije sheme sistema, še posebej hidravličnih shem. Nadalje, za sisteme manjših zmogljivosti, npr., za uporabo v stanovanjskem sektorju, je cilj zmanjšati zahtevnost načrtovanja skoraj na nič. To pomeni da mora biti jedro sistema že vnaprej sestavljeno, se pravi, da so definirane hidravlične sheme in ustrezne komponente (hladilna naprava, povezovalne cevi, črpalke, ventili, ekspanzijska oprema, odvod toplote, nadzorna enota, itd.) in so podana priporočila o primernem tipu in velikosti polja SSE ter uporabi pomožnega sistema, če se te komponente ne dobavijo v kompletu s hladilnim sistemom.
Diskusija o primernih shemah sistema je trenutno še v teku na različnih nivojih, od katerih je eden tudi IEA SHC Task 38. Vseeno pa so nekatera podjetja že na pragu tega, da ponudijo na trgu kompletne solarne hladilne sisteme. Na tem mestu bodo na kratko predstavljene nekatere osnovne ideje shem sistema. Za celotne načrte z detajli in hidravličnimi komponentami kot so ventili, črpalke in podobno ni prostora.



Slika 5.1 *Shema možne tehnične rešitve za manjši solarni hladilni sistem. Vir: Fraunhofer ISE.*

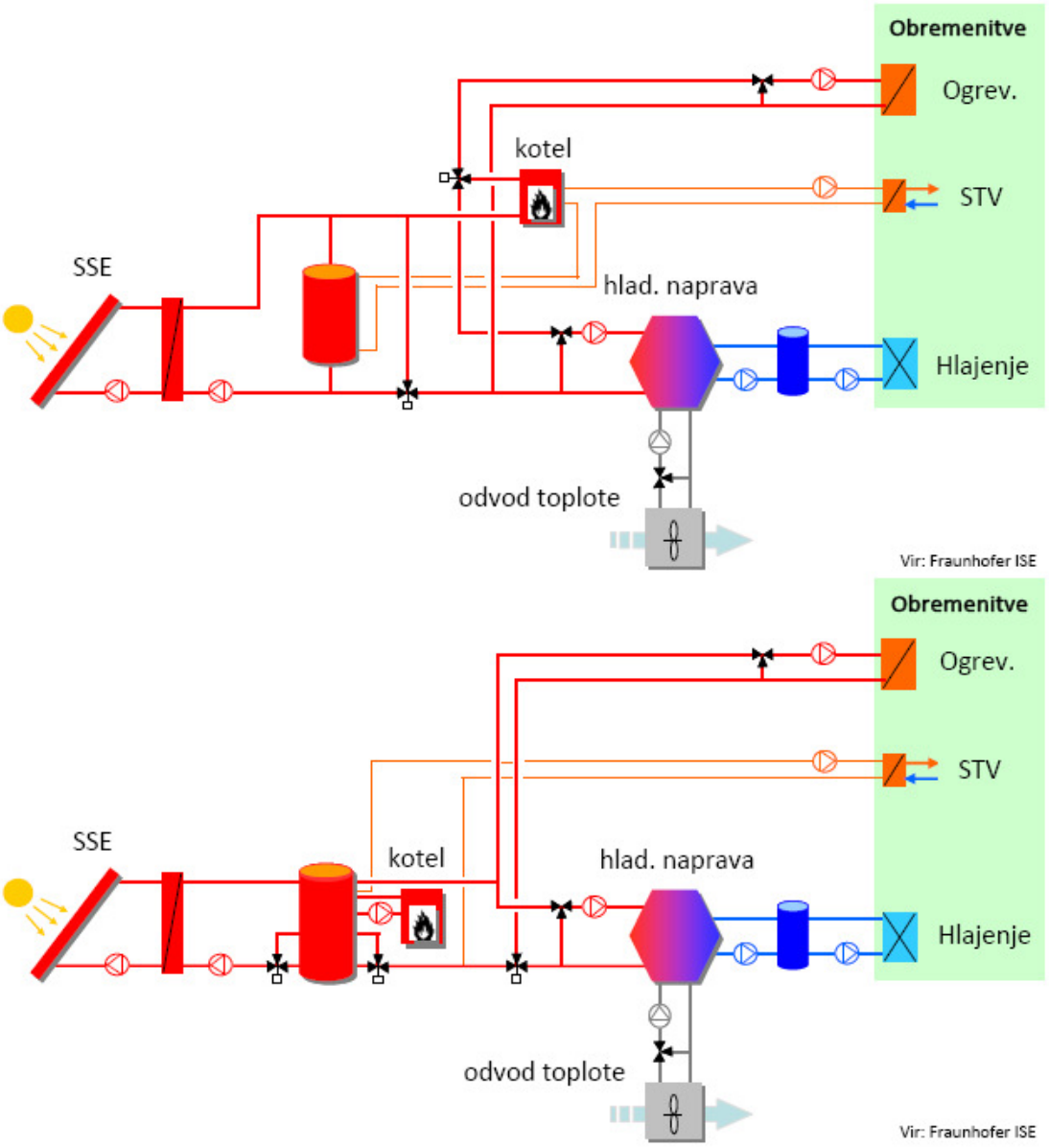
Osnovna skica manjšega solarnega hladilnega sistema je prikazana na sliki 5.1, in vsebuje vse najpomembnejše komponente. Karakteristike te konfiguracije so

- Ni možnosti by-passa na strani hranilnika toplote. Prednost tega koncepta: solarna toplota gre vedno najprej v hranilnik; kar pomeni, da ima hranilnik vedno funkcijo blažilnika. Vrednosti pretokov medija v solarnem sistemu in v dovodu toplote hladilni napravi nista v direktni povezavi, shema je preprosta in zahteva le preprost nadzor polnjenja in praznjenja hranilnika toplote. Slabost te rešitve pa je, da je v primeru nizke temperature medija zaradi visoke toplotne inercije sistema, potrebno precej časa preden dosežemo potrebno temperaturo grelnega medija za hladilni sistem, saj je potrebno najprej dvigniti temperaturo hranilnika toplote. To ima za posledico zakasnitev začetka delovanja hladilne naprave;
- Grelnik (kotel) je vgrajen ločeno in ne dovaja toplote hranilniku toplote. Prednosti: Višja učinkovitost SSE in kotel se lahko uporablja za ogrevanje ter pripravo tople sanitarne vode (ni prikazano na sliki) brez ne želene podpore hladilni napravi (glej poglavje 3). Poleg tega lahko

kotel uporabimo v izjemnih primerih pri visokih temperaturah prostorov daleč od pogojev ugodja, na primer takrat, ko ni na voljo dovolj solarne toplote. Slabost: potrebna je večja kapaciteta kotla, kot v primeru, ko je ta prigrajen na hranilnik toplote; bolj nestabilna temperatura tople vode. Poleg tega je uspeh običajnih solar-combi sistemov (podpora ogrevanju in priprava tople vode) v nekaterih Evropskih državah povezan s kompaktnimi in pred-sestavljenimi sistemi v katerih ima osrednjo vlogo hranilnik toplote z vgrajenim grelnikom, oziroma kotlom;

- Mešalni ventil v krogotoku grelnega medija za hladilno napravo: potreba po tej napravi je odvisna od strategije upravljanja hladilne naprave. V principu cilja na omejevanje kapacitete hlajenja z nadzorom temperature dovoda toplote. Nekatere hladilne naprave že same ponujajo to možnost. Alternativa je nadzor in spreminjanje masnega pretoka v krogotoku hladilne naprave, kjer se dovaja toplota;
- Mešalni ventil v krogotoku odvoda toplote: ta varnostna naprava preprečuje prenizko temperaturo hladilne vode, ki vstopa v hladilno napravo (posebne zahteve pri absorpcijskih napravah). Potreba po tej napravi je odvisna od zahtev upravljanja hladilne naprave. V vsakem primeru pa je pred tem ukrepom potrebno uporabiti neprekinjeno ali pa stopenjsko upravljanje ventilatorja hladilnega stolpa, saj je to učinkovit ukrep za zmanjševanje porabe električne energije;
- Neposreden dovod ohlajene vode porabnikom: na sliki 5.1 ni predviden nikakršen hranilnik hladu. Hladilna naprava deluje dokler je na voljo solarna toplota oziroma dokler je potrebno odvajati toploto iz stavbe v okolico. V odvisnosti od upravljanja in delovanja decentraliziranih hladilnih instalacij lahko pogosto pričakujemo tudi delovanje hladilne naprave le z delno močjo, lahko pa pride tudi do popolne zaustavitve hladilne naprave. Hranilnik ohlajene vode lahko izboljša situacijo: priprava hladilne vode je do neke mere neodvisna od potrebe po hlajenju in hladilna naprava lahko več časa deluje z nazivno močjo. Solarna toplota se še vedno izkorišča in ohlajena voda se shranjuje v hranilniku, saj se glede na izkoristek 1-stopenjskega sorpcijskega procesa bolj splača hraniti ohlajeno kot vročo vodo. Slabost: višji stroški investicije zaradi hranilnika ohlajene vode ter dodatnih cevi in črpalke ter nadzora.

V projektu Solar Combi+ [SolarCombi+, 2008], ki ga podpira Evropska Komisija znotraj programa Intelligent Energy Europe agencije EACI, je bila izvedena virtualna študija primerov majhnih solarnih sistemov; skozi obširne simulacije ter izračune je bila pridobljena baza letnih izplenov za izbrane konfiguracije sistemov za različne aplikacije. Na začetku študije je bilo potrebno definirati tipične sheme sistemov. Kmalu se je izkazalo, da partnerji projekta iz različnih držav različno razumejo ‘najboljšo tehnično rešitev’ zasnove sistema. Znanje o primernih instalacijah solarnih hladilnih sistemov je razdeljeno med različnimi delovnimi skupinami, veliko je različnih tehničnih pristopov in skupno število realiziranih sistemov je relativno majhno, oziroma ni dovolj veliko, da bi lahko združili izkušnje v eno optimalno shemo zasnove solarnega hladilnega sistema. Poleg tega na zasnovo sistema lahko vplivajo tudi nacionalni predpisi; na primer, predpis s področja projektiranja solarnih sistemov v Španiji ne dovoljuje neposredne integracije pomožnega grelnika v hranilnik solarne toplote.



Slika 5.2a (zgoraj) in 5.2b (spodaj) *Dve shemi manjših solarnih hladilnih sistemov predlagani v študijah primerov v projektu SolarCombi+. Shemi sta podrobneje predstavljeni v tekstu. Vir: Fraunhofer ISE.*

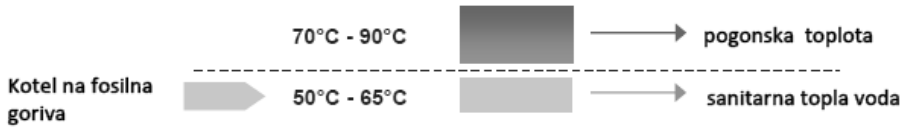
V končni fazi so se osredotočili na dve konfiguraciji kot glavni opciji, ki so predstavljeni na slikah 5.2a in 5.2b. V obeh primerih je predpostavljeno, da je možno sočasno pokrivanje ogrevanja in hladilnih obremenitev, kar je realna predpostavka za majhne in srednje velike stavbe.
Na shemi 5.2a, je pomožni kotel vgrajen ločeno od solarnega sistema. Možni so naslednji načini delovanja:

1. Ogrevanje prostorov in priprava sanitarne tople vode s kotlom; na voljo ni zadostne količine toplotne energije. Povratek iz toplotnega izmenjevalca sanitarne tople vode gre skozi solarni hranilnik toplote kjer se segreje ali predgreje s sončno energijo. Hladilna naprava ne deluje;
2. Podpora ogrevanju prostorov s solarnim sistemom: uporablja se energija iz solarnega hranilnika toplote, če pa je potrebno s kotlom dogrevamo vodo na želeno temperaturo, ali pa se uporabi toplota neposredno iz solarnega sistema. To zavisi od upravljanja z črpalkami v primarnem krogu solarnega sistema. Kot v I. primeru, hladilna naprava ne obratuje;
3. V poletnem načinu delovanja deluje tudi hladilna naprava. Da je zjutraj mogoč hiter zagon hladilne naprave, je narejen obvod (bypass) hranilnika toplote z sočasnim delovanjem črpalk v primarnem in sekundarnem krogu solarnega sistema ter v pogonskem krogu hladilne

naprave . To pomeni da morajo biti črpalke v vseh krogotokih medsebojno usklajene. Če je temperatura SSE prenizka se prenosni mediji segreje s kotlom. Ob tem pa je potrebno biti pozoren na priporočila glede uporabe pomožnih virov toplote, kar je bilo opisano v tretjem poglavju;

4. Ko solarni sistem ne deluje med obratovanjem hladilne naprave (zaustavitev črpalk solarnega sistema), se uporablja toplota iz solarnega hranilnika toplote, če pa je potrebno se dogreva s kotlom (ponovno: priporočila glede uporabe pomožnih virov toplote).

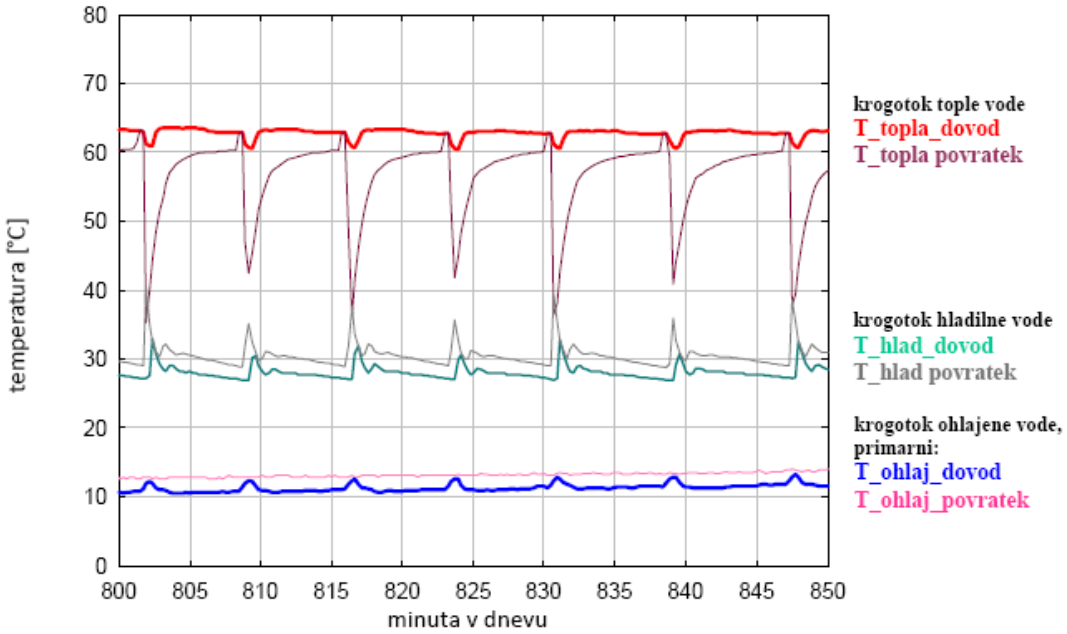
Možnost obvoda (bypass-a) solarnega hranilnika toplote pomeni kompleksnejšo hidravlično shemo ter strategijo nadzora. Razviti je potrebno primerno strategijo nadzora za učinkovito delovanje hranilnika toplote, saj je ta običajno povezan z visokimi investicijskimi stroški. Kljub vsemu je ta rešitev favorizirana s strani nekaterih proizvajalcev sistemov ter delovnih skupin. Topla voda vedno prehaja tudi skozi toplotni izmenjevalec kotla, tudi ko ta ni aktiven kar posledično pomeni večji padec tlaka v tokokrogu dovoda toplote.
Pri konfiguraciji iz sheme 5.2b je hranilnik toplote kot glavni element razvoda toplote vedno v uporabi; sistem z pomožnim virom toplote je ali vgrajen ali pa prigrajen na sam hranilnik toplote. Ta rešitev je danes v uporabi pri številnih solar-combi sistemih (solarna podpora ogrevanju in priprava tople sanitarne vode), ker so ti sistemi do neke mere pred-sestavljeni kar poenostavi vgradnjo celotnega solarnega sistema. Razvoj tovrstnih solar-combi sistemov je gotovo pomagal k uspehu instalacij za solarno podporo ogrevanju. Poleg prednosti pri vgradnji je tudi hidravlična shema enostavnejša kot pri primeru iz 5.2a pa tudi nadzor primarnega kroga solarnega sistema je neodvisen od delovanja drugih delov sistema.



Slika 5.3 *Osnovana ideja nadzora pomožnega vira toplote, v primeru, ko je pomožni vir integriran v hranilnik toplote, a obenem ni mišljena njegova podpora pri zagotavljanju toplote za delovanje hladilne naprave. V zimskem času, ko hladilna naprava ne obratuje, lahko, če je to potrebno temperaturni njivo delovanja pomožnega vira (kotla) dvignemo na višji njivo. Vir: Fraunhofer ISE.*

Integracija pomožnega vira toplote v hranilnik toplote v kontekstu solarnega hlajenja zahteva veliko pozornosti pri nadzoru delovanja kotla z ozirom na bilanco primarne energije, obravnavano v točki 3. V vsakem primeru naj kotel takrat, ko je potrebno hlajenje ne bi smel segrevati hranilnika toplote tople vode nad njivo za toplo sanitarno vodo, takrat, ko se ta voda uporablja tudi kot vir pogonske toplote za hladilni sistem. To pomeni da območje delovanja za toplo sanitarno vodo in potrebe solarnega hlajenja jasno ločeno v nadzorni strategiji kotla. Slika 5.3 podaja shemo take nadzorne strategije: kotel se uporablja za pripravo tople sanitarne vode v ozkem temperaturnem območju, npr. do 65°C. Hladilna naprava pa začne z delovanjem pri temperaturi hranilnika > 70°C, dodatna toplota za doseganje tega nivoja se zagotovi s solarnim sistemom. Ko je hladilna naprava v obratovanju, je temperatura povratka v hranilnik toplote pogonskega medija še vedno visoka (npr. 60°C), torej še vedno višja od nivoja, ko se vklopi pomožni vir – kotel za pripravo tople sanitarne vode.
V primeru, ko je uporabljena adsorpcijska hladilna tehnologija moramo biti pozorni na eno značilnost te konfiguracije in sicer na intervale rekuperacije toplote. To je del adsorpcijskega procesa, ko med hidravličnim preklopom med adsrorpcijo in desorpcijo (glej poglavje 2), pride do kratkotrajne izmenjave toplote med dvema enotama hladilne naprave (običajno trajanje okrog 15 s). To ima za posledico kratka, a izrazita nihanja temperature povratka tople vode v pogonskem krogu hladilne naprave. Slika 5.4 prikazuje primer temperaturnih nivojev zabeleženih pri meritvah sistema z adsorpcijsko hladilno napravo. Nihanja, še posebej tista na povratku pogonskega krogotoka lahko zahtevajo dodatne ukrepe v upravljanju sistema, če je predvideno krmiljenje

sistema s to temperaturo. Primeren ukrep je blaženje teh nihanj temperature v hranilniku. To je lahko glavni hranilnik toplote, ali pa poseben hranilnik – blažilnik na povratku tople vode.

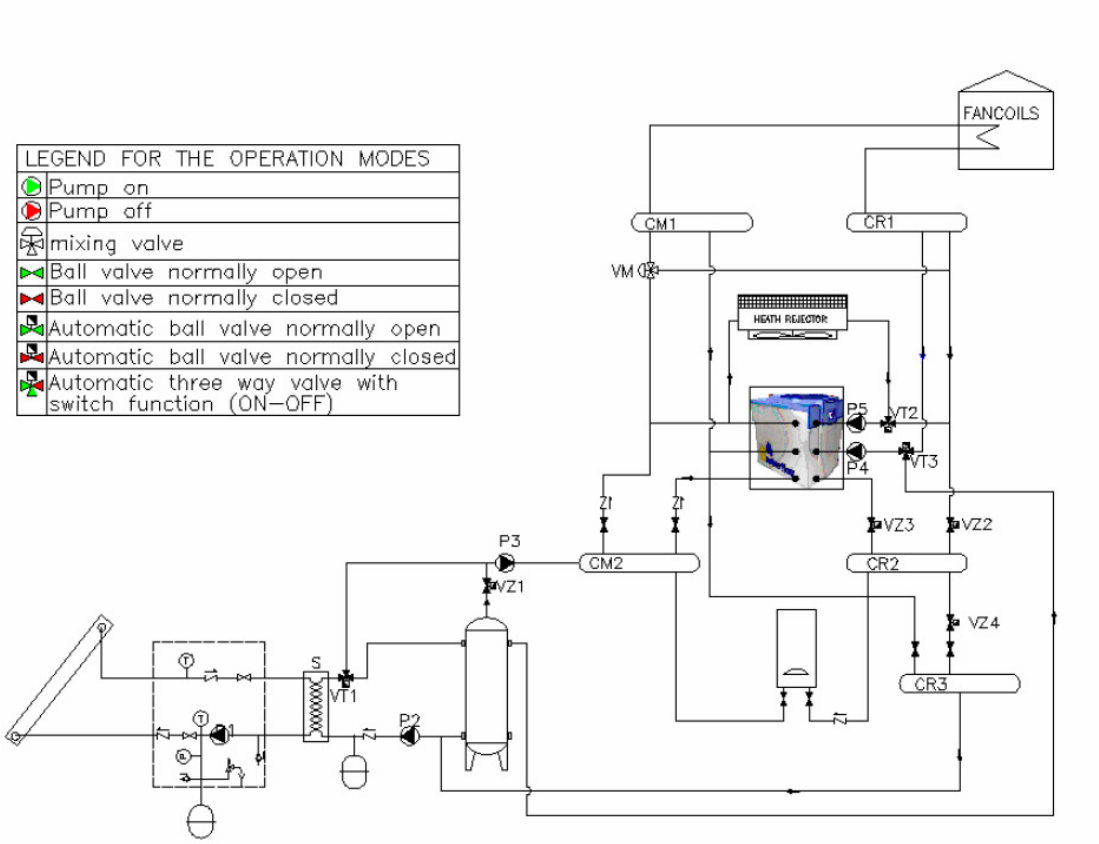


Slika 5.4 *Za adsorpcijske hladilne sisteme so značilne nihanja temperature v hidravličnih krogih. Posebno nihanja temperature povratka tople vode morajo biti upoštevana pri konfiguraciji in nadzoru sistema. Vir: Fraunhofer ISE.*

Število različnih konfiguraciji obstoječih sistemov je trenutno skoraj enako številu vseh obstoječih sistemov, kar kaže na pomanjkanje standardov in pred-definiranih sistemov na področju aplikacij solarnega hlajenja. Vseeno pa se proizvajalci le teh dobro zavedajo prednosti standardiziranih konfiguracij in njihovega vpliva na zmanjševanje stroškov in zanesljivost obratovanja, še posebej na področju sistemov manjših kapacitet. Težnja po bolj standardiziranih pristopih ter zasnovah sistemov je razvidna tudi na spletnih straneh proizvajalcev kot so

- SolarNext – www.solarnext.de
- SOLution – www.sol-ution.com or
- ClimateWell – www.climatewell.com

V projektu High-Combi [High-Combi, 2008] so podrobno opisane tri različne aplikacije solarnega hlajenja. V okviru tega projekta bodo realizirani trije demonstracijski sistemi z različnimi inovativnimi temami. Slika 5.5 prikazuje konfiguracijo najmanjšega sistema, ki upporablja hladilno napravo Rotartica Solar 7 (Hladilna zmogljivost 4.5 kW).
V SOLAIR Katalogu primerov dobre prakse je predstavljenih še več konfiguracij sistemov iz podatkovne baze SOLAIR [SOLAIR, 2008].



Slika 5.5 Shema sistema s hladilno napravo Rotartica Solar 7, postavljenega v okviru projekta High-Combi. Vir: Project deliverable D6 'State of the art of similar applications' in High-Combi [High-Combi, 2008]

Reference

[SolarCombi+, 2008]
Identification of most promising markets and promotion of standardised system configurations for the market entry of small scale combined solar heating & cooling applications (SOLAR COMBI+). Supported in the Intelligent Energy Europe Programme of the European Commission. EIE/07/158/S12.466793. Duration: until 02/2010. www.solarcombiplus.eu

[High-Combi, 2008]
High solar fraction heating and cooling systems with combination of innovative components and methods (High-Combi). Task 2, Deliverable 6: State of the art of similar applications, July 2008. Supported by the European Commission. TREN/07/FP6EN/S07.68923/038659. Duration: until 2009. www.highcombi.eu.

[SOLAIR, 2008]
Increasing the market implementation of solar air-conditioning systems for small and medium applications in residential and commercial buildings. Task 2.2 / Best Practice Catalogue, June 2008. Supported in the Intelligent Energy Europe Programme of the European Commission. EIE/06/034/S12.446612. Duration: until 12/2009. www.solair-project.eu

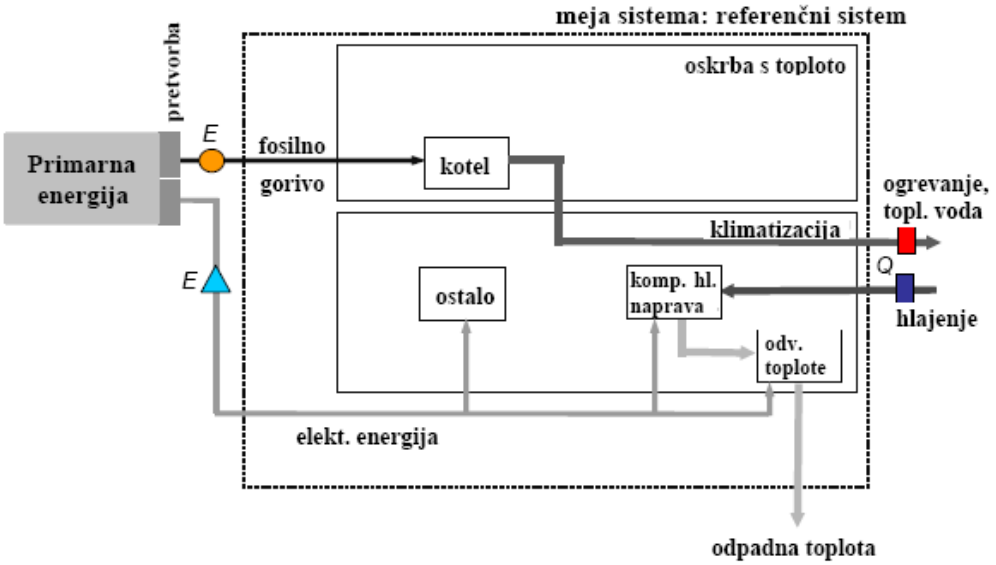
6 Priporočila glede spremljanja delovanja in zagotavljanja kakovosti

Z nekaj sto postavljenimi sistemi je solarno hlajenje še vedno v začetni fazi preboja na trg. V tej fazi je pomembno pridobivanje informacij o doseženih rezultatih in o celotnem izkoristku sistema. Poleg tega je pomembno spremljanje delovanja sistema s katerim lahko ocenimo prispevek sistema k prihranku primarne energije (demonstracija potenciala solarnega hlajenja) in nudimo podporo zanesljivemu in optimalnemu delovanju solarnega hlajenja. Slednje je neposredno povezano s povečano ekonomsko vednostjo sistema.
Ker so aplikacije solarnega hlajenja kompleksnejše kot na primer solarni termalni sistemi za podporo ogrevanju je potrebno vložiti več truda pri nadzoru in spremljanju delovanja. Ko načrtujemo spremljanje delovanja je izbira števila točk spremljanja odvisna od stopnje zanimanja za vrednotenje kvalitete delovanja sistema. V grobem lahko stopnje ocenjevanja delovanja sistema razdelimo na

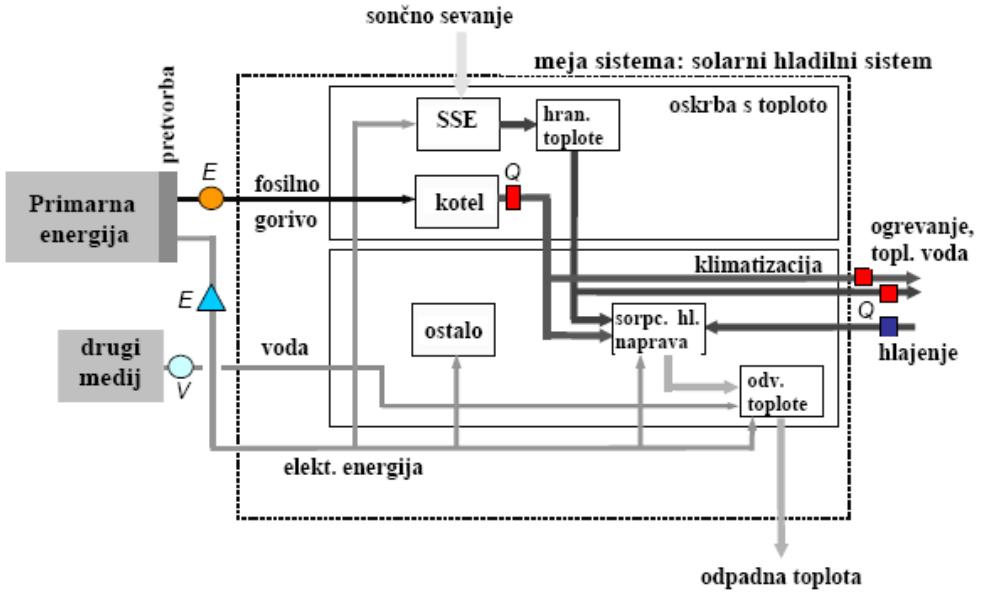
- osnovna kontrola delovanja: status delovanja sistema, ki omogoča preprosto odkrivanje napak. Ta njivo spremljanja delovanja zagotavlja informacije o statusu, npr. zanesljivosti delovanja solarnega sistema (nadzor črpalk) in ostalih ključnih komponent z namenom odkrivanja resnih motenj in napak v delovanju sistema ter izogibanja ne načrtovanemu delovanju pomožnega sistema. To so minimalne zahteve, ki jih moramo doseči. V tem primeru ne dobimo nikakršnih informacij o obratovalnih karakteristikah sistema. Še posebej ne moremo dobiti podatkov o delovanju hladilne naprave (razen če to omogoča notranji nadzorni sistem naprave);
- osnovna globalna ocena delovanja: vsebuje vrednosti npr. proizvedene toplote solarnega sistema, proizvedenega hladu, toplote iz pomožnega vira, celotne porabe električne energije. S temi podatki lahko izračunamo preprosto skupno energijsko bilanco sistema in podamo oceno prihranjene primarne energije in zmanjšanja emisij CO_2 v primerjavi z referenčnim sistemom. Naredimo lahko tudi stroškovno analizo;
- podrobna analiza sistema: na voljo so podatki meritev z visoko časovno ločljivostjo za vse hidravlične tokokroge, meri se sončno obsevanje, vgrajeni so merilniki električne energije, beleži se stanja posameznih ventilov. Z temi ukrepi lahko ocenimo učinkovitost posameznih komponent in sledimo energijske tokove v posameznih komponentah sistema. Omogoča shranjevanje podatkov o delovanju, tako, da lahko analiziramo podatke za nazaj in to na različnih časovnih skalah. Poleg tega ta njivo spremljanja delovanja omogoča določitev šibkih točk v upravljanju sistema in ti podatki naj bi služili za optimizacijo delovanja sistema.

Slednji njivo spremljanja delovanja je trenutno v uporabi v več pilotskih in demonstracijskih sistemih solarnega hlajenja. Stroški, ki so povezani z opremo za spremljanje, njeno vgradnjo in časovno požrešno analizo podatkov so veliki. Kot v splošnem velja je zahtevnost podrobne analize sistema neodvisna od velikosti le tega (skoraj identično število hidravličnih tokokrogov in komponent v vseh sistemih), tako da je jasno, da ta njivo spremljanja ne bo postal standard za manjše sisteme na trgu. Ne glede na vse pa je ta njivo spremljanja pomemben za razvoj solarnih hladilnih sistemov.
Slika 6.1 podaja primer minimalnih zahtev, če želimo zadostiti pogojem za primerjavo z referenčnim sistemom v smislu energijske bilance. Za podrobnejšo analizo solarnega hladilnega sistema je potrebno poznati tudi energijske tokove med posameznimi komponentami sistema (Slika 6.1c).
Slika 6.2 podaja še en primer zahtevanih merilnih signalov, ki so potrebni za natančno analizo sistema. V tem primeru se ne spremlja delovanje prezračevalnih sistemov, saj se ta primer osredotoča na proizvodnjo ohlajene vode. Vsaka merilna točka *Q*, kjer se meri toplotni tok obsega dva temperaturna signala in signal masnega pretoka, saj pri natančni analizi ni dovolj merilnik

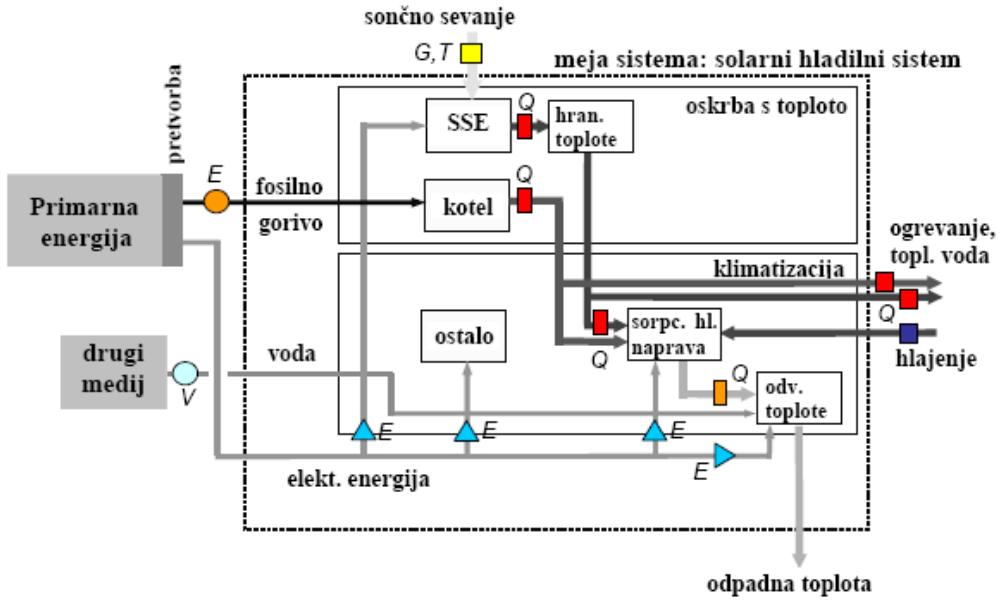
toplotnega toka, ampak nas zanimajo tudi absolutne vrednosti neposredno merjenih veličin – temperature in masnega pretoka. Na sliki niso prikazani dodatni senzorji, ki nam močno olajšajo odkrivanje napak v primeru motenj v delovanju sistema, kot so na primer pozicijski signali tripotnih ventilov, vklopa črpalk, ipd.



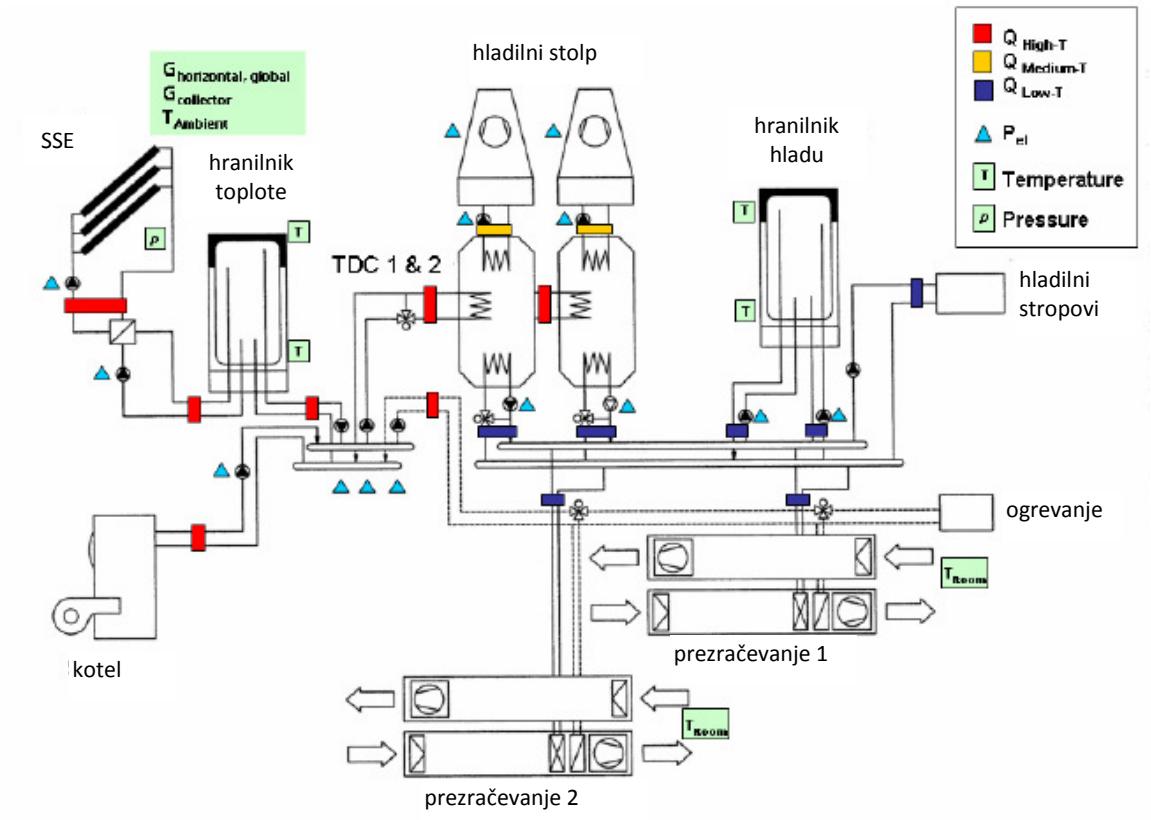
Slika 6.1a *Da dobimo grobo sliko energijske bilance konvencionalnega ogrevalnega in hladilnega sistema (referenčni sistem), je potrebno oceniti izhodno uporabno energijo (označena z rdečo in modro črto) ter porabo električne energije celotnega sistema (svetlo moder trikotnik). Količina fosilne energije se izračuna iz povprečnega izkoristka kotla.*



Slika 6.1b *Za primerjavo obratovalnih karakteristik solarnega hladilnega sistema in referenčnega sistema prikazanega na sliki 6.1a moramo poznati vsaj te energijske vrednosti, ki so označene na sliki. Rezultate (npr., letna energijska bilanca) lahko primerjamo z predvidenimi rezultati referenčnega sistema in izračunamo prihranek fosilnih goriv. Nimamo pa na voljo podatkov o izkoristkih oziroma učinkovitosti posameznih komponent, kot na primer solarnega sistema ali hladilne naprave.*



Slika 6.1c *Podrobnejša analiza delovanja zahteva tudi podrobnejše spremljanje delovanja kot je prikazano na sliki 6.1.b. Poleg toplotnega toka spremljamo tudi posamezne temperaturne nivoje in razlike, masne pretoke in signale stanj nadzorne enote sistema (ni prikazano na sliki). Na tem nivoju spremljanja lahko zaznamo neustrezno delovanje sistema in tudi lahko izboljšamo strategije delovanja sistema. Vir: Fraunhofer ISE*



Slika 6.2 *Primer podrobnejšega spremljanja solarnega hladilnega sistema z dvema majhnima absorpcijskima hladilnima napravama, ki zagotavljata ohlajeno vodo za hladilne stropove. Obarvane debelejše črtice označujejo pare natančno umerjenih temperaturnih zaznaval in merilnike volumskega pretoka za meritve toplotne energije; trikotniki označujejo merilnike električne energije. V praksi je na en merilnik električne energije priključenih več črpalk. Na sliki niso označeni merilni signali pozicij ventilov. Vsi podatki se beležijo kot povprečne vrednosti 60 sekundnih časovnih intervalov. Vir: Technikerschule Butzbach/Fraunhofer ISE*

V IEA Task38 'Solar air-condition and refrigeration' [IEA-SHC Task 38], programa Heating and Cooling Programme (SHC) se razvijajo podrobnejše smernice spremljanja delovanja sistemov ter definiranih nivojev spremljanja in bodo objavljene ob zaključku projekta. Znotraj teh aktivnosti, se predvidevajo trije nivoji spremljanja, za katere je značilno progresivno povečevanje števila zaznaval in količine merilnih podatkov:

- Prvi nivo: Osnovne informacije o bilanci primarne energije in stroških. Na tem nivoju so definirane minimalne zahteve, ki omogočajo primerjavo različnih solarnih hladilnih sistemov glede na njihovo učinkovitost pri rabi primarne energije in njihove ekonomske karakteristike. Potrebno je omejeno število merilnikov toplote in en sam merilnik porabe električne energije. Definirani so tudi faktorji pretvorbe za oceno rabe primarne energije ter parameter 'Primary Energy Ratio'. Ta njivo je primeren tako za sorpcijske hladilne sisteme z ohlajeno vodo kot tudi sušilno-hlapilne hladilne sisteme;
- Drugi nivo: Preprosta analiza upravljanja z virom solarne energije. Na tem nivoju se povečano število meritev nanaša na solarni sistem (piranometer za merjenje sončnega obsevanja in dodatne merilnike toplotne energije). Omogoča nam podrobnejšo analizo delovanja solarnega sistema in izgub hranilnika toplote;
- Tretji nivo: Naprednejša procedura spremljanja. Merilni sistem je razširjen, da lahko uporabimo metodo FSC (Fractional Solar Consumption), ki je bila razvita v IEA Task 26 za solar-combi sisteme. Metoda je bila nadgrajena v IEA Task 32 za solarne ogrevalne sisteme z velikimi hranilniki toplote [Letz, 2002], [Weiss (Ed), 2003]. Poleg tega so lahko potrebne dodatne merilne točke, da popišemo vse energijske tokove v sistemu. Pri referenčnem ogrevalnem in hladilnem sistemu ne upoštevamo solarnega vira toplote. Ta metoda je tudi primerna za sorpcijske hladilne sisteme z ohlajeno vodo in za sušilno-hlapilne hladilne sisteme.

Drugi pomembni ukrepi zagotavljanja kakovosti se ne nanašajo na nadzor delovanja sistema, ampak na redno vzdrževanje in preglede sistema. Proizvajalci hladilnih naprav podajajo priporočila glede vzdrževanja, prilagojena tipu naprave, kot na primer preverjanje vakuuma, analiza raztopine itn. Vzdrževanje, ki naj bi ga izvajali v različnih časovnih intervalih od pol-letnih do na primer 6 letnih, obsega več preizkusov, kot so mehanski preizkusi, preizkusi vakuuma, analiza raztopin, ipd. Primer preizkusov za specifični tip hladilne naprave je predstavljen v SOLAIR training material data base v točki D3: operation and maintenance [SOLAIR Training, 2008]. Vzdrževati pa je potrebno tudi sistem za odvod toplote in solarni sistem. Primer preventivnega vzdrževanja solarnega sistema je prikazan na sliki 6.3.
V zgodnji fazi načrtovanja sistema, ali ko pripravljamo ponudbo je potrebno upoštevati ukrepe zagotavljanja kakovosti. Nekaj primerov:

- minimalna proizvedena toplota polja SSE za načrtovano površino SSE (definicija v kWh/m² na leto za hlajenje in za ogrevanje (npr. izračunana iz COP števila procesa proizvodnje hladu). Potrebno je spremljanje dejanske dobave toplote, kar pomeni, da moramo v tej fazi predvideti ustrezno merilno opremo;
- priporoča se, da ponudba vključuje zavezo k zagotavljanju minimalnega letnega donosa solarnega sistema za predvideno aplikacijo in temperaturni njivo. Ta ukrep prisili ponudnika sistema k podajanju realističnih podatkov o donosu sistema. Če donos pri normalnih obratovalnih pogojih ni dosežen, mora dobavitelj solarnega sistema plačati neko pogodbeno kazen. V pogodbi morajo biti definirani normalni pogoji obratovanja in referenčno letno sončno obsevanje. V tem primeru je potrebno vsaj spremljanje energijskega donosa solarnega sistema;
- poleg tega naj bi dobavitelj SSE ali pa dobavitelj sistema specificiral tveganje za stagnacijo SSE in zagotovil varno delovanje sistema v primeru takega dogodka z ustrezno izbiro in kombinacijo hidravličnih komponent. Stagnacija se lahko pojavi na primer ob izpadu električne energije ali pa ob okvari črpalk. Možna je tudi namena povzročitev stagnacije po postavitvi sistema in s tem dokaz, da je sistem varen pred stagnacijo;

- pogodba z dobaviteljem hladilne naprave naj bi vsebovala preveritev hladilne zmogljivosti pri obratovalnih pogojih po prvem zagonu sistema. Iz tega razloga je potrebno spremljati vsaj toplotni tok in temperaturne nivoje v hladilnih hidravličnih tokokrogih hladilnega sistema;
- v ponudbi naj bi bila definirana tudi načrtovana poraba električne energije, ali pa kot še ostrejši kriterij električna učinkovitost celotnega sistema. V prvem letu(ih) delovanja se z ustrezno merilno opremo preveri realno porabo električne energije. Podoben kriterij lahko uporabimo npr. za porabo vode pri sušilno-hlapilnih hladilnih procesih ali pa v primeru, da je načrtovana uporaba mokrega odvoda toplote.

COLLECTORS FIELD		
Item	**Frequency (months)**	**Description**
Collectors	**6**	*VI differences with the original one*
		VI differences between collectors
Glasses	**6**	*VI condensations and dirtiness*
Joints	**6**	*VI cracking, deformations*
Absorber	**6**	*VI corrosion, deformations*
Frame of the collector	**6**	*VI deformation, movement, ventilation spaces*
Connexions	**6**	*VI escapes*
Structure	**6**	*VI degradation, corrosion, checking of the screws*
HEAT EXCHANGER		
Equip	**Frequency (months)**	**Description**
Heat exchanger	**12**	*WC efficiency*
	12	*Clean*
Submersible heat exchanger (loop)	**12**	*WC efficiency*
	12	*Clean*
TANKS		
Equip	**Frequency (months)**	**Description**
Tanks	**12**	*Dust in the inferior part*
Sacrifice anode	**12**	*Check wear*
Electrical anode	**12**	*Check good working*
Insulation	**12**	*Check there is no humidity*
HYDRAULIC LOOPS		
Equip	**Frequency (months)**	**Description**
Refrigerant	**12**	*Check density and PH*
Tightness	**24**	*Do a pressure proof*
Outdoor insulation	**6**	*VI degradation protection, unions and no humidity*
Indoor insulation	**12**	*VI unions and no humidity*
Automatic purge	**12**	*WC and clean*
Manual purge	**6**	*Take the air out*
Pumps	**12**	*WC and tightness*
Closed expansion vessel	**6**	*Check the pressure*
Automatic filling system	**6**	*WC actuation*
Cut valve	**12**	*WC actuations (open and close)*
Security valve	**12**	*WC actuation*
Distribution loop	**6**	*Check the pressure*
ELECTRICAL AND CONTROL PARTS		
Equip	**Frequency (months)**	**Description**
Electrical part	**12**	*Check the electrical board is closed to avoid the entrance of dust*
Differential control	**12**	*WC actuation*
Sensors	**6**	*WC actuation*
Thermostat	**12**	*WC actuation*
Energy-meter	**6**	*Write the produced energy*

Slika 6.3 Primer načrta preventivnega vzdrževanja za celotni solarni sistem.
VI = vizualni pregled; WC = kontrola delovanja. Vir: Aiguasol.

Reference

[Letz, 2002]
T. Letz: Validation and background information of the FSC procedure. Technical report of subtask A, IEA-SHC Task 26. 2002. www.iea-shc.org/outputs/task26/A_Letz_FSC_method.pdf

[Weiss (Ed), 2003]
W. Weiss (Ed): 'Solar Heating Systems for Houses – A Design Handbook for Solar Combisystems'. IEA-SHC Task 26, James&James Ltd London, pp 125-154, 2003.

[IEA-SHC Task 38]
Task 38 'Solar air-conditioning and refrigeration', executed in the Solar Heating and Cooling Programme of the International Energy Agency IEA. www.iea-shc.org/task38

[SOLAIR Training, 2008]
Increasing the market implementation of solar air-conditioning systems for small and medium applications in residential and commercial buildings (SOLAIR). Supported in the Intelligent Energy Europe Programme of the European Commission. EIE/06/034/S12.446612. Duration: until 12/2009.
Training modules available at the SOLAIR web page; Tools and Products: Training modules and materials; D_3_Operation_Maintenance.pdf. Prepared 2008. www.solair-project.eu

7 Orodja za načrtovanje

7.1 Pristopi k načrtovanju

Načrtovanje v zvezi s solarnim hlajenjem v glavnem pomeni

- Izbiro primerne solarne hladilne opreme za izbran klimatizacijski sistem
- Izbiro ustreznega tipa SSE za izbran klimatizacijski sistem in solarno hladilno opremo
- Dimenzioniranje polja SSE in drugih komponent z upoštevanjem energijske ter stroškovne učinkovitosti

Prve dve točki sta bili obravnavani v poglavju 2.
Pri dimenzioniranju sistema lahko sledimo različnim pristopom, kot je prikazano na sliki 7.1.
V nadaljevanju so opisani pristopi k načrtovanju, z njihovimi prednostmi in slabostmi ter omejitvami za posamezne aplikacije.



Slika 7.1 *Različni pristopi k načrtovanju. Natančnost metode je v neposredno povezana s kompleksnostjo. Referenca: [Henning, 2004/2008].*

7.2 Načrtovanje ''čez palec''

V tretjem poglavju tega priročnika je podana osnova tega pravila. Izraz:

$$A_{spec} = \frac{1}{G\eta_{coll,design}COP_{design}}$$

kjer je

A_{spec}	= specifična površina SSE podana na enoto kW hladilne zmogljivosti	[m^2/kW_{cold}]
G	= sončno obsevanje na ravnino SSE	[kW/m^2]
$\eta_{coll,design}$	= izkoristek SSE pri projektnih pogojih (temp. grel. medija)	[-]
COP_{design}	= toplotni COP hlad. naprave pri projektnih pogojih	[-]

podaja grobo oceno površine SSE, ki je potrebna za delovanje solarnega hladilnega sistema. Tole preprosto pravilo:

+ Omogoča hitro oceno o potrebni velikosti polja SSE če poznamo učinkovitost SSE in COP hladilne naprave
− Ne upošteva odstopanj v dnevnih in letnih vrednostih sončnega obsevanja
− Ne upošteva podatkov o kraju postavitve sistema in hladilnih obremenitvah
− V celoti zanemari pogoje delne obremenitve[4] solarnega hladilnega sistema

Glede na [Henning, 2004/2008] so predstavljena druga preprosta pravila.
Za določitev cene SSE - **Collector First Costs** – naredimo preprost izračun glede na krivuljo učinkovitosti SSE, dobljeno po standardu [EN 12975-2:2006]:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{t_m - t_a}{G} - a_2 \frac{(t_m - t_a)^2}{G}$$

Kjer je

η_0	= optična učinkovitost
a_1, a_2	= koeficienta toplotnih izgub SSE
t_m	= temperatura SSE (povprečje med vhodno in izhodno temperaturo medija)
t_a	= temperatura okolice

Toplotna moč SSE pri delovni temperaturi t_m je:

$$q = A\eta G \Rightarrow A = \frac{q}{\eta G}$$

Površina SSE na kW proizvedene toplote, A_{spec}, je:

$$A_{spec} = \frac{1kw}{\eta G}$$

4 Delna obremenitev hladilne naprave ustreza obratovalnim pogojem, ki niso enaki optimalnim – ne ustrezajo pogojem, ko je dosežen maksimalni COP.

Če imajo SSE 50% izkoristek pri povprečni temperaturi 80ºC in 800 W/m^2 sončnega obsevanja na ravnino SSE je specifična velikost polja SSE, se pravi površine, ki je potrebna za proizvodnjo 1kW moči 2,5 m^2.
Na osnovi podatkov iz obstoječih primerov solarnih sistemov o specifični vrednosti investicije v SSE (cena na kvadratni meter), lahko določimo ceno na enoto toplotne moči:

$$Cost_{heat,power} = A_{spec} Cost_{spec}$$

Če je specifična cena SSE 500 €/m^2 in je specifična površina SSE 2,5 m^2/kW je strošek SSE na enoto moči 1250 €/kW.
Tudi ta preračun:

+ Omogoča grobo primerjavo različnih SSE, ob predpostavki, da so poznani parametri SSE in delovna temperatura solarne hladilne naprave
− Ne upošteva odstopanj v dnevnih in letnih vrednostih sončnega obsevanja
− Ne upošteva podatkov o kraju postavitve sistema in hladilnih obremenitvah
− V celoti zanemari pogoje delne obremenitve solarnega hladilnega sistema

Pri vseh izračunih do zdaj je bila upoštevana samo toplotna moč SSE. Sprejemniki sončne energije ne zagotavljajo konstantne moči ampak se le ta spreminja v odvisnosti od trenutne jakosti sončnega obsevanja zaradi spreminjajočih se vremenskih pogojev. Za določanje proizvedene energije SSE potrebujemo meteorološke podatke. S pomočjo urnih vrednosti sončnega obsevanja na ravnino SSE in krivuljo učinkovitosti SSE je mogoče izračunati maksimalno proizvedeno energijo SSE pri konstantni delovni temperaturi. Reference [Horta et al, 2008, 2008a] podajajo potrebno metodologijo za ta izračun. Od tod dobimo letno bruto vrednost proizvedene energije SSE, Q_{gross}, ki jo lahko izrazimo v kWh.
Letni strošek proizvodnje toplote s solarnim sistemom - **Solar heat cost –** lahko izračunamo z upoštevanjem:

$$Cost_{annual} = Cost_{spec} f_{annuity}$$

kjer je $f_{annuity}$ anuitetni faktor,ki upošteva obrestno mero investicije in življenjsko dobo solarnega sistema.

$$Cost_{heat} = \frac{Cost_{annual}}{Q_{gross}}$$

Q_{gross} je letna proizvedena toplota sistema za dan kraj postavitve in znano delovno temperaturo.
Ta preračun:

+ Omogoča dobro primerjavo različnih SSE, z upoštevanjem njihovih parametrov ter sončnega obsevanja za določeno lokacijo
+ Določitev maksimalne možne proizvodnje toplote določenega tipa SSE za dano lokacijo (letni meteorološki podatki) in dano delovno temperaturo
− Ne upošteva profila hladilnih obremenitev
− V celoti zanemari pogoje delne obremenitve solarnega hladilnega sistema

Za izračun Q_{gross} se lahko uporabijo nekatera programska orodja, ki se običajno uporabljajo za načrtovanje solarnih sistemov za pripravo tople vode. Nekatera od teh orodij uporabljajo mesečna povprečja meteoroloških podatkov, druga pa urne vrednosti.

7.3 Preprosta računalniška orodja za osnovno načrtovanje sistemov

Na internetu so brezplačno na voljo bolj ali manj preprosta načrtovalna orodja, ki so bila razvita v okviru različnih evropskih projektov. V tabeli 7.1 so zbrana do sedaj znana orodja.

Prog. orodje	Referenca / Vir
SACE: Solar cooling evaluation light tool	Referenca [Hans-Martin Henning, 2003] http://www.solair-project.eu/218.0.html
SHC-SoftwareTool (NEGST project)	Referenca [Sabatelli, V. et al., 2007] http://www.swt-technologie.de/html/publicdeliverables3.html
EasySolarCooling	Glej referenco [Wiemken, E. et al (2004)] Ni na voljo
SolAC – Solar Assisted Air Conditioning Software	Referenca [Franke, U. et al (2005)] http://www.iea-shc-task25.org/english/hps6/index.html

Tabela 7.1 *Seznam programskih orodij*

V nadaljevanju so opisana ta orodja, pri čemer so poudarjene njihove prednosti in omejitve.

7.3.1 SHC-Softwaretool (Projekt NEGST)

Primer preprostega računalniškega orodja, ki uporablja mesečne podatke in je bilo razvito v okviru projekta NEGST [NEGST (2004-2007)]. Na voljo je brezplačno na spletni strani http://www.swt-technologie.de/html/publicdeliverables3.html. Na sliki 7.2 je primer glavnega menija, oziroma okna programa.

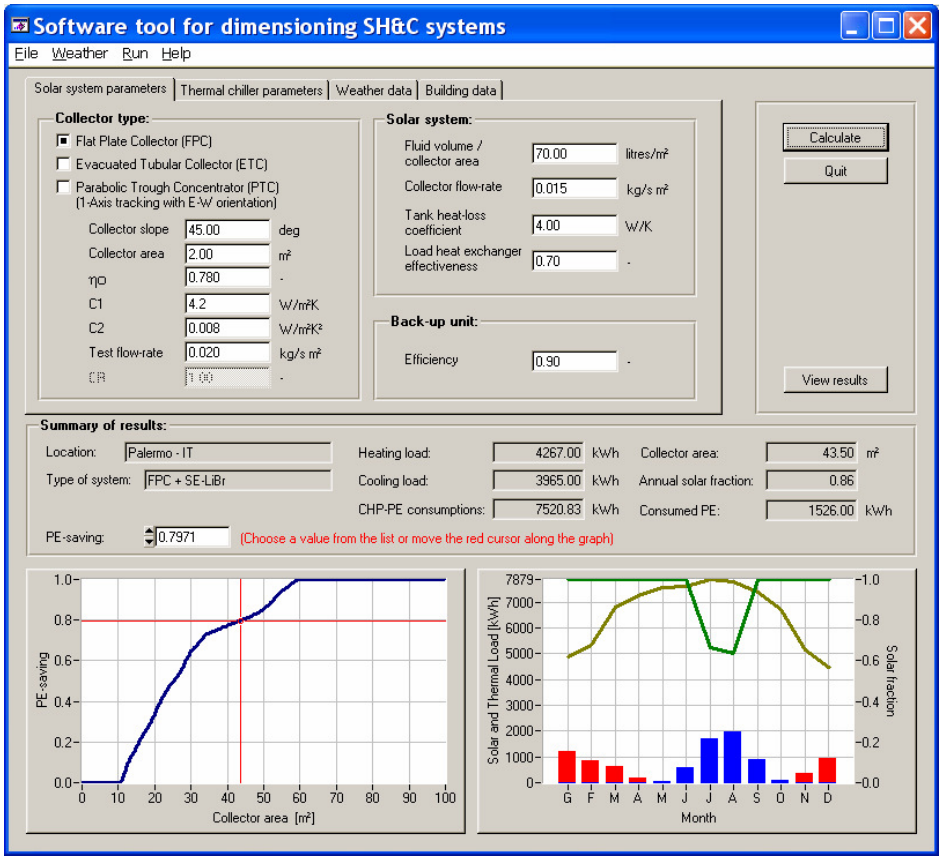
Ta program omogoča določitev površine polja SSE, ki je potrebna da dosežemo določen prihranek primarne energije. Program upošteva hladilne obremenitve in letno potrebo po ogrevanju. Uporabnik mora podati hladilne obremenitve in potrebno toploto za ogrevanje na kvadratni meter površine prostora, ki je klimatiziran in površino prostora. Solarni sistem mora pokriti te obremenitve, pri čemer potrebo po ogrevanju zadovolji neposredno, hladilne obremenitve pa posredno, preko hladilne naprave s specifičnim COP.

Kot primer so v Tabeli 7.2 podane vrednosti potrebne solarne energije, pri čemer je za hladilno napravo upoštevan COP 0,7.

Mesec	Ogrevalna obremenitev [kWh]	Hladilna obremenitev [kWh]	Toplota solarnega sistema [kWh]
1	1,226	0	1,226
2	864	0	864
3	649	0	649
4	191	0	191
5	0	44	63
6	0	420	600
7	0	1,273	1,819
8	0	1,477	2,110
9	0	677	967
10	0	81	116
11	375	0	375
12	962	0	962

Tabela 7.2 *Izračun mesečne potrebne solarne energije, pri znanih vrednostih mesečnih hladilnih in ogrevalnih obremenitev.*

Mesečna proizvedena energija solarnega sistema se določi po metodi– phi-fchart [Duffie, J. and W. Beckman, 2006]. Izračuna se Q_{gross} za različne površine SSE. Za vsak primer se izračuna prihranek primarne energije, ki je prikazan na grafu na levi strani (glej sliko 7.2). V desnem grafu so prikazani rezultati, ki ustrezajo izbrani vrednosti prihranjene primarne energije, lahko pa jih tudi izpišemo v obliki tabele (***View results***).

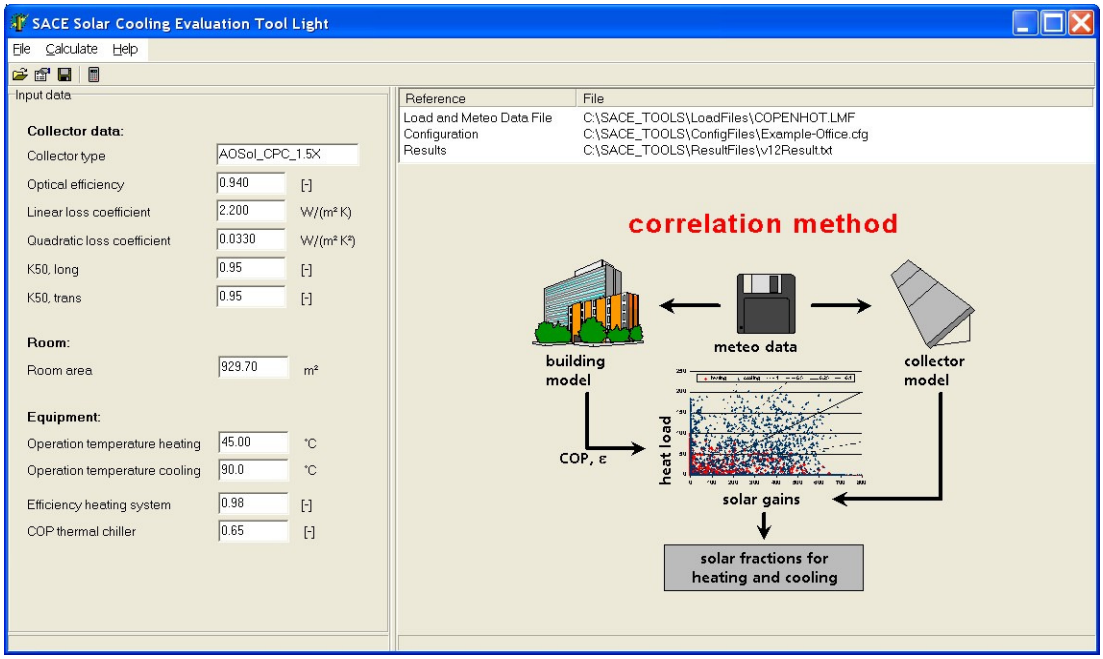


Slika 7.2 *Glavno okno programskega orodja SHC*

Na voljo ni nikakršnih podrobnih informacij o postopku izračuna primarne energije, tako da ni garancije, da so uporabljene enačbe iz slike 3.2 iz poglavja 3. Prav tako se ne da ugotoviti kateri faktorji pretvorb so uporabljeni pri primarni energiji za elektriko in fosilna goriva.
Tole programsko orodje:
Upošteva povprečne podnebne pogoje in povprečne obremenitve (ogrevalne in hladilne)
Omogoča določitev površine SSE kot funkcijo prihranka primarne energije
V celoti zanemari pogoje delne hladilne obremenitve solarnega hladilnega sistema

7.3.2 SACE Solar cooling evaluation light tool

To orodje je bilo razvito v okviru Evropskega projekta "SACE: Solar air conditioning in Europe". Povzetek projekta in gradiva, ki so nastala tekom projekta so na voljo na spletni strani projekta SOLAIR - http://www.solair-project.eu/218.0.html. Iz te povezave si ga lahko brezplačno naložimo. Namen tega orodja je, da omogoča hitro pred-študijo izvedljivosti solarnih hladilnih sistemov. Letni delež solarne toplote za ogrevanje in hlajenje se izračuna glede na urno primerjavo potrebne toplote za pogon solarne hladilne naprave ter toplote iz solarnega sistema, ki je na voljo.
Omogoča parametrične študije, kjer so izhodni podatki podani kot funkcija specifične velikosti SSE, to pomeni razmerje med površino SSE in površino prostorov, pa tudi zmogljivostjo hranilnika. Zmogljivost hranilnika je definirana kot čas v katerem lahko pokriva vršno letno hladilno obremenitev. Izhodna podatka, ki ju dobimo sta delež solarne toplote in učinkovitost SSE.
Na voljo je baza podatkov z datotekami, ki vključuje sedem geografskih lokacij in tri različne tipe stavbe (Hotel, 642.4 m^2 ; Pisarne, 930 m^2; predavalnica, 216 m^2). Bazo podatkov lahko dopolnimo z datotekami z drugimi lokacijami in stavbami, ki jih ustvarimo z drugimi komercialnimi programskimi orodji, vendar moramo v tem primeru paziti, da v program SACE pravilno vnesemo "room area" (površina prostora).



Slika 7.3 *Glavno okno programa SACE*

Za izračun potrebuje datoteko (hladilna in ogrevalna obremenitev) in datoteko urnih vrednosti vremenskih podatkov. Solarni sistem je v glavnem popisan s parametri učinkovitosti SSE. Stavba je predstavljena s površino, klimatizacijska oprema pa z dvema delovnima temperaturama (hlajenje in ogrevanje) ter z izkoristkom ogrevalnega sistema in COP-jem hladilne naprave.

Tole programsko orodje:

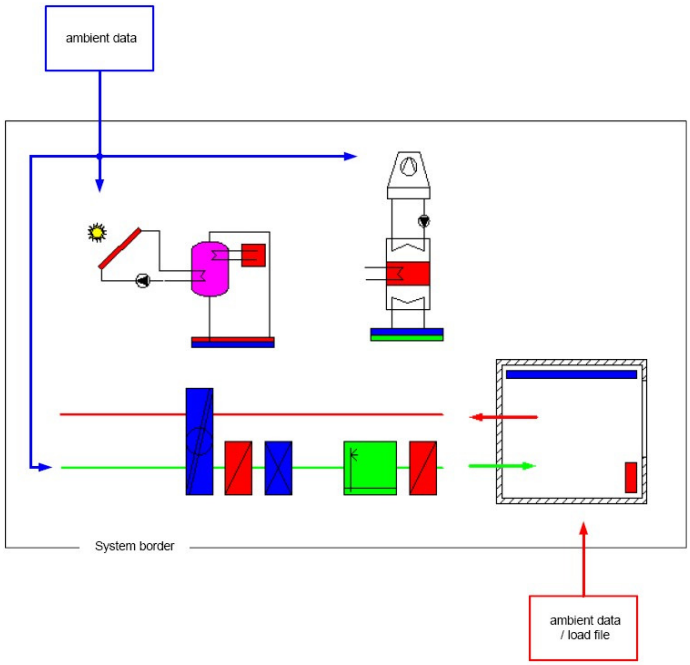
+ Upošteva urne vrednosti meteoroloških podatkov ter urne vrednosti obremenitev (hlajenje in ogrevanje)
+ Omogoča določitev deleža solarne toplote kot funkcije specifične velikosti polja SSE ali pa kapacitete hranilnika
– Metoda sploh ne upošteva pogojev delne hladilne obremenitve ter toplotno gnane hladilne opreme

7.3.3 SolAC – Solar Assisted Air Conditioning Software

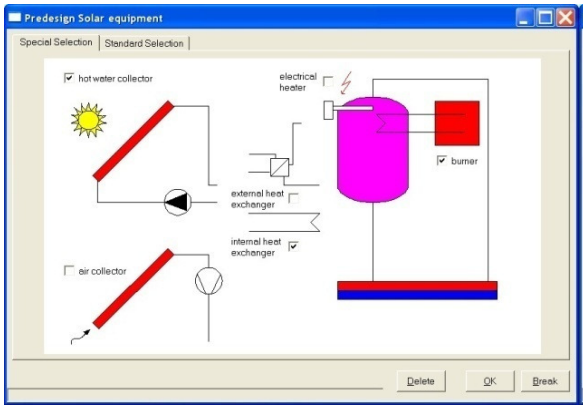
Programsko orodje je razvil ILK Dresden v okviru projekta Implementing Agreement "Solar Heating & Cooling" – Task 25 – Solar assisted air-conditioning systems.
Na voljo je brezplačno na spletni strani:
http://www.iea-shc-task25.org/english/hps6/index.html
Ko si ga naložimo na računalnik, je v datoteki na voljo tudi vsa dokumentacija v zvezi z tem orodjem (referenca [Franke, U. and Seifert, C. (2005)])
Vhodni podatki za ta program so:
– Vremenski podatki, ki vključujejo sončno obsevanje (urne vrednosti)
– Datoteke s podatki o hladilni in ogrevalni obremenitvi (urne vrednosti)

Na sliki 7.4 lahko vidimo različne komponente sistema.
Programsko orodje obravnava štiri enote solarnega hladilnega sistema:
– Solarni sistem
– Hladilna naprava
– Klimatizacijska naprava
– Hladilne in ogrevalne komponente v prostoru

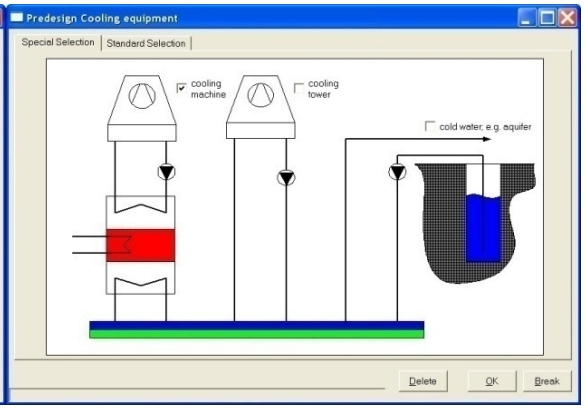
Te enote imajo lahko različne konfiguracije, ki jih določi uporabnik (glej Slika 7.5).
Rezultati simulacije so prikazani kot urna potrebna moč sistema (sistem se smatra kot sestav štirih prej naštetih komponent). Modeli, ki so uporabljeni za vsako od štirih komponent so podrobno opisani v [Franke, U. and Seifert, C. (2005)], ampak izvirna koda programa ni na voljo, tako da ni možno dodajati novih komponent.



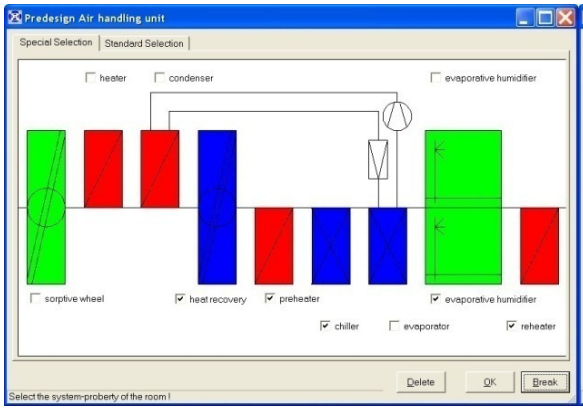
Slika 7.4 *Grafična predstavitev komponent sistema (z leve proti desni) – Solarni sistem; hladilna naprava; klimatizacijska naprava; hladilne in ogrevalne komponente, ter vhodni podatki (vir [Franke, U. and Seifert, C. (2005)])*



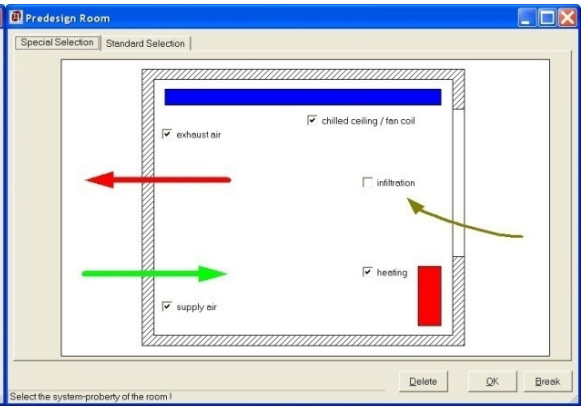
Slika 7.5a *Opcije solarnega sistema*



Slika 7.5b *Opcije hladilne naprave*



Slika 7.5c *Opcije klimatizacijske naprave*



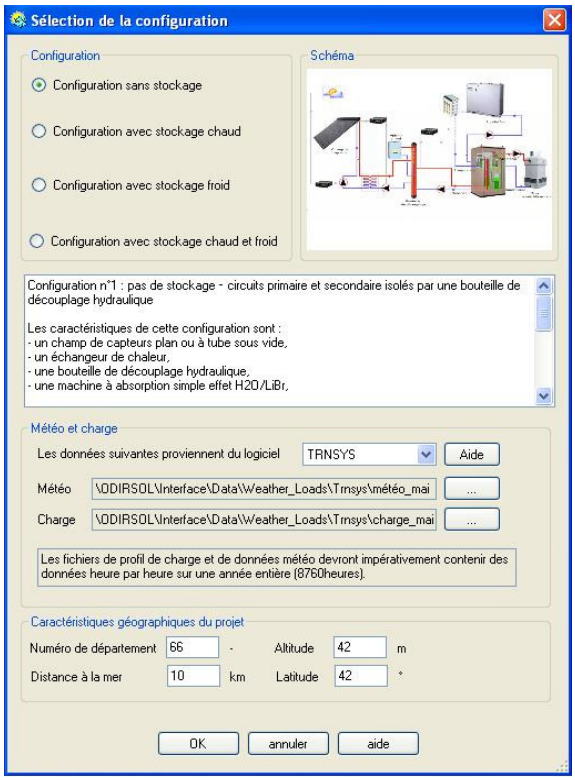
Slika 7.5d *Opcije ogrevalnih in hladilnih komponent v prostoru*

To programsko orodje:

+ Upošteva urne vrednosti meteoroloških podatkov ter urne vrednosti obremenitev (hlajenje in ogrevanje)
+ Naredi urni preračun potrebe po energiji za glavne komponente in določi letne vrednosti
+ Upošteva pogoje delne obremenitve hladilne naprave
+ Vključuje ekonomsko analizo
+ Možna je le obravnava pred-definiranih sistemov
+ Analiza rabe primarne energije ni popolna, saj ne upošteva porabe električne energije za nekatere komponente sistema

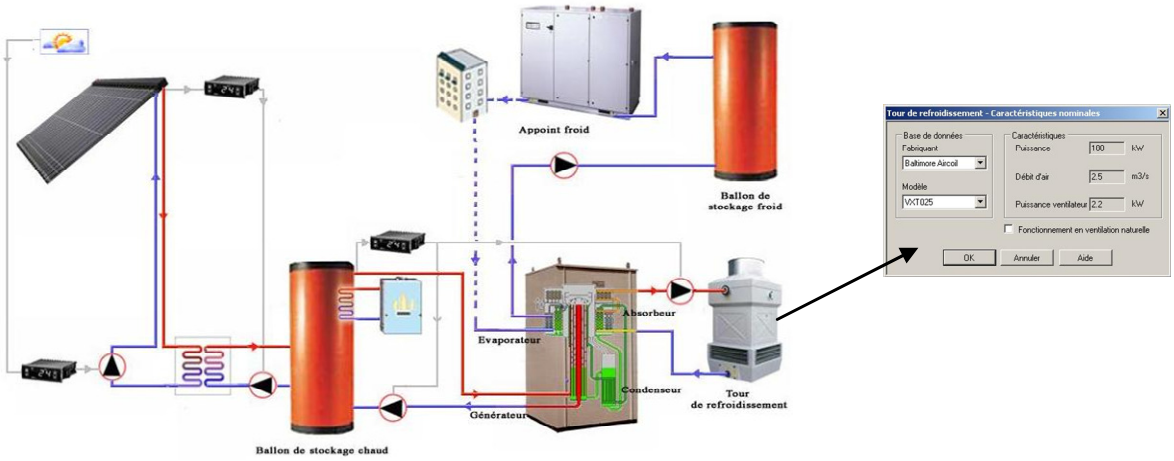
7.3.4 ODIRSOL – Solar Assisted cooling Software

Programsko orodje ODIRSOL je bilo razvito v partnerstvu med CSTB in TECSOL. Zamišljeno je kot orodje, ki pomaga pri izbiri snovalcem in projektantom. Orodje bazira na dinamičnih simulacijah s TRNSYS-om, kar zagotavlja tehnično in ekonomsko oceno podrobnega projekta solarnega hlajenja, kjer je uporabljena enostopenjska absorpcijska tehnologija. Simulacije pokrivajo preproste konfiguracije s pomožnim sistemom za proizvodnjo toplote in/ali hladu ter hranilnikom toplote in/ali hladu.
Na voljo je tudi "pomoč" za večino korakov v programu, poleg tega pa je na voljo tudi nekaj primerov sistemov različnih velikosti.
Rezultate simulacije letnih obremenitev hlajene stavbe z urnimi vrednostmi mora zagotoviti uporabnik. Vsi podatki, ki so uporabljeni v programskem orodju so predstavljeni v podatkovni bazi programa, ki je del le tega, in sicer v mapi ODIRSOL\ Interface\ Data. Podatki so Francoski podatki za obdobje 2005-2007.



Vsebina in metodologija

V prvem koraku izberemo hidravlično konfiguracijo; Na voljo so 4 možnosti, z ali brez hranilnika.
Potem mora uporabnik naložiti potrebne meteorološke podatke in podatke o hladilni obremenitvi v zahtevani obliki datoteke TRNSYS PREBID, ali izbranega simulacijskega orodja za urne toplotne simulacije.
Uporabnik prav tako vnese ostale osnovne geografske podatke.
Iz teh podatkov program avtomatsko pred-dimenzionira vse komponente sistema.
Metoda pred-dimenzioniranja bazira na preprostih razmerjih, oceni 'čez prst' in podatkovni bazi tržno dosegljivih naprav.
V glavnem oknu ima uporabnik možnost spreminjanja vsake komponente ali pa izbire drugih komponent iz podatkovne baze.



Ko so vneseni vsi podatki uporabnik požene simulacijo. Jedro programa TRNSYS zažene simulacijo. Modeli komponent v glavnem pripadajo standardni knjižnici in CSTB add-on knjižnici. Absorpcijska hladilna naprava je model na osnovi naprave Type107 modificiran s strani TECSOL-a in uporablja operacijske krivulje na osnovi podatkov s strani proizvajalcev.
Ko je simulacija zaključena program izdela pisno poročilo z energijsko bilanco za vse tokokroge in finančno analizo projekta solarnega hlajenja. Uporabnik ima vpogled tudi v potek temperatur v različnih delih sistema (v glavnem vstopne in izstopne temperature za različne komponente). Mape z mesečnimi podatki so v obliki notepad formata na voljo v mapi ODIRSOL/project directory

Status
Končna izvedba programskega orodja ODIRSOL je na voljo brezplačno, vendar v testni beta verziji. Vse konfiguracije so bile preizkušene in dajejo realne rezultate za detajlne konfiguracije; samo nekaj od njih jih je bilo validiranih oziroma primerjanih z realiziranimi projekti, saj ni na voljo veliko podatkov o spremljanju delujočih sistemov. Programsko orodje je za enkrat na voljo v Francoskem jeziku, bazo podatkov pa bo potrebno v kratkem posodobiti, da bo usklajena z najnovejšimi produkti, ki jih ponuja trg.

Kontakt
Opis: http://software.cstb.fr/soft/present.asp?context=Odirsol&langue=us
Prenos : http://software.cstb.fr/soft/download.asp?page_id=us!Odirsol

7.3.5 Pričakovana nova programska orodja

Razširjena verzija SACE ''solar cooling light tool'' (točka 7.3.2) je bila izdelana s strani Fraunhofer ISE in je namenjena hitremu okvirnemu dimenzioniranju solarnih hladilnih sistemov. Ta verzija omogoča izbiro pred-definiranih konfiguraciji sistema in določitev referenčnega konvencionalnega sistema, kar nam omogoča, da znotraj ene simulacije dobimo primerjavo letne energijske bilance za določeno zmogljivost sistema. To orodje še ni na voljo, ampak se trenutno razvija izboljšana in obširnejša verzija, ki bo namenjena splošni pred-zasnovi toplotno gnanih hladilnih sistemov. Ta nova verzija bo omogočala izbiro različnih virov toplote (npr., daljinsko ogrevanje, odpadna toplota iz procesov, solarna toplota) in bo imela orodje za pripravo podatkov o hlad. obremenitvah ter potrebi po ogrevanju, kar pomeni, da ne bo potrebna uporaba zunanjih simulacijskih orodji ter programov. Zaradi tega razloga je program simulacije stavbe integriran, osnovan na preprostem 1-conskem pristopu. Ko bo programsko orodje končano bo na voljo na spletni strani EU projekta POLYSMART (www.polysmart.org) in IEA Task 38 (www.iea-shc.org/task38), po vsej verjetnosti pa ne bo brezplačno.

7.4 Orodja za podrobne simulacije

Orodja za podrobne simulacije omogočajo modeliranje stavbe in klimatizacijskega sistema. V tabeli 7.3 so našteta najpogosteje uporabljana orodja za ne stacionarne simulacije solarnih hladilnih in klimatizacijskih sistemov.

Prog. orodje	Referenca / Vir
TRNSYS	Referenca [TRNSYS] www.sel.me.wisc.edu/trnsys/
ColSim	www.colsim.de
EnergyPlus	Referenca [Energy Plus, 2005] www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/
INSEL	Referenca [INSEL,2003-2006] http://www.inseldi.com/index.php?id=21&L=1

Tabela 7.3 Seznam simulacijskih orodji

Ta simulacijska orodja se v glavnem osredotočajo na klimatizacijski sistem in ponujajo dodatno možnost modeliranja stavbe in ustvarjanja datotek s podatki o obremenitvi (za hlajenje in ogrevanje). V tem primeru jih smatramo za “osredotočena na sistem”. Druga pa so osredotočena na natančno modeliranje stavbe, in vključujejo aktivne komponente klimatizacijskega sistema. V tem primeru jih obravnavamo kot “osredotočena na stavbo”. V nadaljevanju je podan kratek opis teh programskih orodij.

7.4.1 Sistemsko usmerjena simulacijska orodja

TRNSYS

TRNSYS je v “energetski skupnosti” dobro poznan program. Razvit je bil v sedemdesetih letih na univerzi v Wisconsin-u v ZDA.

Podprogrami, ki popisujejo komponente solarnih sistemov, hidravličnih komponent ter ogrevanja in klimatizacije se imenujejo moduli (Types). V programu je na voljo veliko teh modulov za različne komponente solarnih sistemov pa tudi elemente ogrevanja in klimatizacije. V glavnem je to odprtokodni (open source) program in omogoča vnos novih komponent.

Ima tudi poseben urejevalnik, kjer lahko definiramo karakteristike stavbe kar omogoča izračun hladilnih obremenitev ter potrebe po ogrevanju. Z razliko od drugih komponent programa urejevalnik za modeliranje stavbe ni odprtokodni.

Program ni brezplačen, je zahtevnejši in za njegovo uporabo je potrebno nekaj izkušenj.

Na voljo je veliko primerov uporabe tega programa pri snovanju solarnih hladilnih sistemov. Nekateri so podani v [Wiemken, E. et al (2004)].

ColSim

Cilj razvoja orodja ColSim je bila možnost simuliranja in preizkušanja zahtevnejših strategij nadzora različnih klimatizacijskih sistemov ter solarnih sistemov vezanih na model stavbe. Razvijalci tega programskega orodja kot razlog za njegov razvoj navajajo dejstvo, da *simulacija strategij nadzora s TRNSYS-om in drugimi tržno dosegljivimi orodji ni možna brez modifikacije algoritmov, ki jih za reševanje uporablja program, če hočemo doseči konvergenco z majhimi časovnimi koraki*.

Podroben opis programa ter navodila za uporabo lahko dobimo na spletni strani www.colsim.de. Je odprtokodni tip programa, njegova trenutna platforma je LINUX, čeprav se ga lahko uporablja tudi v okolju Windows. Ob tem je potrebno povedati še da Colsim spletna stran ne ponuja nobenega podatka o aktualnosti (nobenega datuma). Geslo za brezplačen prenos dobimo po tem, ko kontaktiramo odgovornega razvijalca.

Dovoljuje sestavljanje novih modulov za različne komponente sistemov, ni pa znana trenutna situacija glede tega programa.
Z internetne strani si lahko prenesemo kar nekaj literature, ki pa je po večini v nemškem jeziku.

INSEL® – Integrated Simulation Environment Language
Programsko orodje je opisano kot "grafični programski jezik z integriranim okoljem za ustvarjanje simulacijskih aplikacij". Uporablja grafične simbole, ki so povezani z operacijami z miško in lahko predstavljajo matematične funkcije ali realne komponente sistemov,npr., SSE.
Trenutna verzija INSEL-a ima modul za solarno termalne aplikacije, ki vključuje ravne in vakuumske SSE, toplo-zračne SSE, hranilnike toplote, pa tudi modele solarno termalnih hladilnih postrojenj, kot na primer sušilno-hlapilne hladilne procese ter absorpcijske aplikacije.
Tudi pri tem programskem orodju lahko uporabnik oblikuje okolje programa, oziroma lahko programira nove modele komponent sistema. Podpira programske jezike, kot sta FORTRAN in C/C++.
Verzija za učenje je na voljo brezplačno na naslednjem spletnem naslovu
http://www.inseldi.com/index.php?id=21&L=1.

7.4.2 Simulacijska orodja usmerjena na stavbo

Energy Plus
EnergyPlus je opisan kot "program za energijsko analizo in simulacijo toplotnih obremenitev".
Osnovan je na uporabnikovem opisu stavbe, torej fizičnih lastnosti stavbe, vgrajenih sistemov, itd. EnergyPlus izračuna potrebno količino energije za ogrevanje in hlajenje, ki je potrebna, da vzdržujemo želene parametre v stavbi.
Nekatere od glavnih karakteristik tega programskega orodja, izbrane iz podrobnega opisa v [Energy Plus, 2005], so:

- *Integrirana, sočasna rešitev, kjer so odziv stavbe ter primarni in sekundarni sistemi tesno povezani (iteracija se izvaja, ko je to potrebno)*
- *Uporabnik lahko definira časovne korake(tudi manj kot eno uro) za interakcijo med toplotnimi conami in okolico; variabilni časovni koraki za interakcijo med toplotnimi conami in klimatizacijskimi ter ogrevalnimi sistemi (spreminjajo se avtomatsko z namenom zagotavljanja stabilnosti rešitve)*
- *ASCII tekstovne vremenske, vhodne in izhodne datoteke, ki vključujejo urne ali manj kot urne podatke o klimatskih pogojih*
- *Toplotne obremenitve se izračunavajo s pomočjo toplotne bilance, kar omogoča sočasno računanje sevalnih in konvektivnih tokov na notranji in zunanji površini v istem časovnem koraku*
- *Klimatizacijski sistemi na osnovi zanke (konvencionalni in sevalni), ki uporabniku dovoljujejo oblikovanje tipičnih in nekoliko modificiranih sistemov brez spreminjanja izvirne kode programa*

EnergyPlus si lahko prenesemo brezplačno iz www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/.
Program že vključuje nekaj komponent klimatizacijskih sistemov ter SSE. Fizikalni modeli komponent so podrobno opisani v referenci [Energy Plus, 2005]. Možno bo vključiti nove modele. Navodila za to so podana v referenci [Energy Plus, 2005].
Referenca [Carvalho, M.J., 2007] vključuje reference za druga simulacijska orodja.

7.4.3 Nadalnji opis simulacijskih orodij

V Task 38 'Solar air-conditioning and refrigeration' v Solar Heating and Cooling Programme of the International Energy Agency IEA, bo na voljo opis primernih simulacijskih orodji za aplikacije solarnega hlajenja v teku projekta. Izvedena bo tudi primerjalna analiza različnih simulacijskih orodij na osnovi definiranih sistemov. Te naloge se izvajajo v okviru podskupine C of the Task (www.iea-shc.org/task38).

Reference

[Carvalho, M.J., 2007]
Carvalho, MJ (2007), WP 4.5: SOLAR COOLING: Contribution to a future development of CTSS method applicable to solar assisted air conditioning systems (or solar cooling systems), http://www.swt-technologie.de/WP4_D2.5-cooling.pdf

[Duffie, J. and W. Beckman, 2006]
Duffie, J. and W. Beckman, Solar engineering of thermal processes, John Wiley & Sons, 2006; ISBN 0471698679.

[Energy Plus, 2005]
Energy Plus Manual- version1.2.2 (2005), US Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/

[EN 12975-2:2006]
EN 12975-2:2006, Thermal solar systems and components – Factory made systems – Part 2: Test methods, ICS 27.160

[Franke, U. and Seifert, C. (2005)]
Franke, U. and Seifert, C. (2005), Solar Assisted air conditioning of Buildings – IEA Task 25, Subtask B: Design tools and simulation programmes – documentation for SolAC programme, version 1.5

[Henning, 2003]
Hans-Martin Henning (2003), SACE – Solar Cooling Computer Tool – Guidelines for use, http://www.solair-project.eu/218.0.html

[Henning, 2004/2008]
Hans-Martin Henning (Ed.): Solar-Assisted Air-Conditioning in Buildings – A Handbook for Planners. Springer Wien/NewYork. 2nd revised edition 2008; ISBN 3211730958.

[Horta, 2008]
Horta, P and M. J. Carvalho, M. Collares Pereira, W. Carbajal (2008), Long-term performance calculations based on steady-state efficiency test results: Analysis of optical effects affecting beam, diffuse and reflected radiation, Solar Energy 82, pages 1076–1082

[Horta, 2008a]
Horta, P and M. J. Carvalho, S. Fischer (2008a), Solar thermal collector yield – experimental validation of calculations based on steady-state and quasi-dynamic test methodologies, EUROSUN2008

[INSEL,2003-2006]
Tutorial – INSEL ® - INtegrated Simulation Environment Language - 2003–2006 Doppelintegral GbR (www.inseldi.com)

[NEGST (2004-2007)]
NEGST (2004-2007) – NEGST - New Generation of Solar Thermal Systems - European Project – 6th Framework programme - Project No.: TREN/04/FP6EN/S07.31155/503119

[Sabatelli, V, 2007]
Sabatelli, V and G. Fiorenza, D. Marano (2007), WP5.D3: Design and simulation software, http://www.swt-technologie.de/html/publicdeliverables3.html

[TRNSYS]
TRNSYS – Transient system simulation environment developed at the Solar Energy Laboratory at Univ. of Winsconsin, Madison, USA, http://sel.me.wisc.edu/trnsys/

[TRNSYS 16]
TRNSYS 16 – Transient system simulation environment. Standard Component Library. Overview, Volume 3

[Wiemken, E et al, 2004]
Wiemken, E et al (2004), Design and planning support for solar assisted air-conditioning guidelines and tools, Eurosun 2004

Projekt je podprt s strani



Avtorji te publikacije so v celoti odgovorni za njeno vsebino. Stališča niso nujno enaka stališčem Evropske Zveze. Evropska komisija ni odgovorna za uporabo podatkov iz te publikacije.