

## Част 6. Енергия от слънцето: Слънчева топлинна енергия

Автори: Ерика Вилла, Херман Сиеверс  
Институция: Target gmbh, Хановер, Германия

Превод – ЕТ "Летера" гр. Стара Загора  
Текстът на български език е редактиран от доц. д-р Рашко Георгиев,  
кат. "Механизация и сгради в земеделието"  
към Аграрния факултет на Тракийски университет – Стара Загора

6.1. Въведение	192
6.1.1 Слънчева топлинна индустрия в Европа	193
6.1.2 Европейски стратегии за развитие на слънчевата топлинна индустрия	195
6.1.3 Слънчева енергия и перспективи за използването ѝ в селските райони	197
6.1.4 Влияние върху околната среда	197
6.2. Техника за производство на слънчева енергия	198
6.2.1 Типове инсталации	198
6.2.2 Оразмеряване и енергийна ефективност	210
6.2.3 Условия за експлоатация на инсталацията	213
6.2.4 Комбинация на слънчеви термични инсталации с други възобновяеми енергии	220
6.3. Преценка на икономическата ефективност	221
6.4. Описание на типични случаи	222
6.5. Библиография	224

*pro aere*

## 6.1. Въведение

Слънцето е не само условие за съществуването на живот на Земята, но и (квази) неизчерпаем енергиен източник, който ще е на разположение още около пет милиарда години. В недрата на слънцето се извършват термоядрени реакции, при които водородът се превръща в хелий. При това се излъчва енергия, която достига Земята под формата на светлина и топлина. В продължение на един час слънцето излъчва върху земната повърхност количество енергия, превишаващо това, което цялото население на света изразходва за една година.

Слънчевото излъчване може да се използва както пасивно, така и активно. Чрез пасивното използване на слънчевата енергия може да се намали потреблението на топлина и изкуствена светлина в определена сграда. Това може да се постигне чрез южно ориентиране на сградата и съответна конструкция на строителното тяло, както и чрез подходящо разполагане на остъклените повърхности. Прозорците и издаващите се пред фасадата остъклени части, направляващите светлината елементи, прозрачните топлоизолации и термичните акумулиращи материали са подходящи строителни елементи за пасивно използване на слънчевата енергия.

За разлика от него, при активното използване на слънчевата енергия целенасочено се прилагат технически помощни средства и компоненти като по принцип съществуват две основни системи. При соларно-термичните инсталации с помощта на колектори се добива топлина, докато модулите от фотоволтаичните системи превръщат слънчевата светлина директно в електричество. С подобни системи за активно използване на слънчевото излъчване и в нашите ширини се добиват значителни количества енергия.

Слънчевите инсталации имат значителен пазарен потенциал като най-вече подходящите покривни повърхности имат решаващо значение за успешното и широко разпространено използване на слънчевата

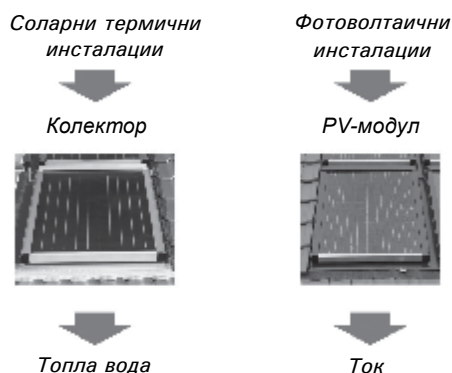
енергия. Само в Германия върху покривите, които са на разположение, могат да се инсталират няколко милиона слънчеви инсталации. По този начин покривът поема не само функцията на защита от атмосферните влияния, а служи същевременно и за екологично чисто производство на енергия, без вредни емисии. За да се отговори и на естетическите изисквания, слънчевите панели не трябва да изглеждат като натрапени чужди елементи и да нарушават ландшафта на покривите, което често се получава при допълнителното монтиране. Трябва да се предпочита интегрирането им в покрива, което същевременно да замести традиционното покривно покритие.

Различните производители на слънчеви колектори предлагат наред с прозорци на покривите и иновативни колектори и фотоволтаични модули, съгласувани по растерни размери и външен вид. Това дава възможност за оптически издържано разполагане на покривни прозорци и слънчеви елементи в различни варианти, които удовлетворяват дори завишените архитектурни изисквания.

Слънчеви инсталации се използват, за да се пести произвежданата по традиционен начин енергия и да се намалят отделяните при изгарянето на фосилни горива емисии на  $\text{CO}_2$ . Произведената от слънчевите инсталации енергия по правило се използва в традиционните енергийни системи, т.е. трябва да има място на свързване на слънчевата инсталация с традиционната захранваща мрежа. Слънчевите инсталации за активно оползотворяване на слънчева енергия по принцип могат да се разделят на две системи с различни енергийни форми.

Слънчево-топлинните инсталации (фиг. 6.1) (колекторните инсталации) произвеждат топлинна енергия и я доставят на системи за загряване на вода, отопление или подгръване на водата в плувни басейни, а в специални случаи и на системи за охлаждане.

Фотоволтаичните инсталации (PV-инсталации) произвеждат електрическа енергия и я подават или в наличната мрежа



Фиг. 6.1. Възможности за активно използване на слънчева енергия

за променливо напрежение (свързани с мрежата PV-инсталации), или я предоставят директно на даден потребител, респективно акумулатор (автономни PV-инсталации).

### 6.1.1. Слънчева топлинна индустрия в Европа

След почти 10 години, през които пазара на слънчеви инсталации в Германия бележеше ръст от 10 %, през 2002 година се стигна до драматичен спад с 23,7 % в сравнение с предходната година (виж фиг. 6.2). През 2003 год. беше направено много за постигането на поставената от Европейския съюз (ЕС) цел за общо 100 милиона  $m^2$  инсталирана колекторна площ до края на 2010 година. Тогава в Европа бяха инсталирани цели 1.450.000  $m^2$  слънчеви колектори - увеличение с 22 % спрямо 2002 год. Тази тенденция се запази и през 2004 год. с плюс още 10 %. Успехът се дължи най-вече на десетте нови страни-членки. Подробна информация е дадена в Таблица 6.1.

Германия е най-големия пазар на термични слънчеви инсталации в Европа, със 750.000  $m^2$  площ на инсталираните колектори през 2003 год. (+ 39 % в сравнение с 2002 год.) и 780.000  $m^2$  през 2004 год., което представлява увеличение с 4 % спрямо предходната година. Тази тенденция се обяснява с по-ограниченото субсидиране след януари 2004 год. (110 €/ $m^2$  вместо 125 €/ $m^2$ ) и от друга страна със значително повишеното заплащане за



Фиг. 6.2. Развитие на годишно инсталираните площи в ЕС в  $m^2$  Eurordischen Union in ml (Quelle: EurObserv'ER 2005)

Таблица 6.1. Площ инсталирани колектори в ЕС в  $m^2$  през 2003 год. (Източник: EurObserv'ER 2005)

Страна	2003	2004
Германия	750 000	780 000
Австрия	176 000	191 494
Гренландия	161 000	215 000
Франция	97 628	116 915
Испания	83 272	90 000
Италия	55 100	55 000
Холандия	49 686	58 304
Кипър	30 000	30 000
Полша	26 500	28 897
Швеция	23 722	28 735
Великобритания	20 000	23 000
Дания	19 000	20 000
Белгия	10 921	14 700
Португалия	10 000	10 000
Чечения	7 000	8 500
Словакия	5 000	5 500
Словения	3 000	3 300
Малта	2 080	4 215
Финландия	1 500	1 500
Люксембург	1 500	1 700
Ирландия	1 392	1 994
Унгария	1 000	3 000
Латвия	400	500
Литва	400	500
Естония	150	250
Сума EU	1 537 070	1 693 004

фотоволтаични инсталации вследствие на новия закон за електричество от възобновяеми енергии.

Инсталираната през 2003 год. в Гърция колекторна площ е с 6 % повече в сравнение с 2002 год., но не достигна цифрите от 2001 год. През 2004 година допълнително бяха инсталирани 215 000 m<sup>2</sup> колекторна площ (+ 33 % спрямо 2003 год.). Голямото увеличение се обяснява с това, че след тежката зима на 2003/2004 год. много инсталации трябваше да бъдат ремонтирани или подменени.

Австрийският пазар е много стабилен и добре структуриран. През 2004 год. бяха инсталирани почти 190 000 m<sup>2</sup> колектори, увеличение с 8,3 % спрямо предходната година. Успехът на пазара на термични слънчеви инсталации се дължи на твърдата воля на федералното правителство да въведе стабилна система за стимулиране специално за промишлеността и търговията, с която инвестициите за соларно-термични инсталации се субсидират с до 30 %. Различните федерални провинции раздават средства за насърчаване на частни лица. Освен това през 2004 год. стартира новата кампания „Климат: активна слънчева топлина“ (Klima: aktiv Solarwdrme), финансирана с 2,6 милиона Евро както обществено, така и частно.

Доста европейски страни стартираха през 2000 и 2001 година кампании за насърчаване използването на термични слънчеви инсталации и постигнаха междувременно първите успехи.

Във Франция през 2003 год. благодарение на програмата „Plan Soleil“ бяха инсталирани 188 000 m<sup>2</sup> слънчеви колектори (42,6 % повече от 2002). През януари 2005 год. там стартира нова система за насърчаване, предвиждаща възстановяване на данъците (credit d'impfts) за частни лица върху до 40 % от разходите за инсталацията.

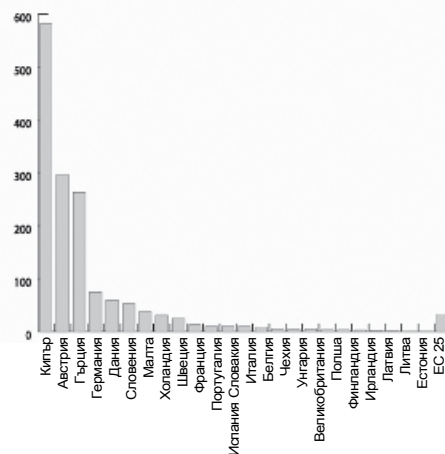
С 90 000 m<sup>2</sup> инсталирани колектори през 2004 год. Испания стана петия по големина европейски пазар, също благодарение на националната програма „Plan de Fomento de las Energias Renovables“.

Трябва да се отбележи, че в Белгия за първи път за една година беше достигнат прагът от 10 000 m<sup>2</sup> инсталирани колектори.

Датският пазар обаче се свива откакто през октомври 2003 год. беше спряно финансовото насърчаване: там ново- инсталираните колектори от 53 000 m<sup>2</sup> през 2002 год. спаднаха на 43 000 m<sup>2</sup> през 2003 год.

От новите страни-членки трябва специално да се споменат Кипър и Полша. През 2004 год. в Кипър бяха инсталирани 30 000 m<sup>2</sup>, а в Полша едва 29 000 m<sup>2</sup> колектори. Системата за насърчаване в Кипър зависи от конфигурацията на инсталациите (питейна топла вода с отопление, плувни басейни, както и реконструкция или инсталиране на термо-сифонни инсталации), докато в Полша няма национални програми за насърчаване или финансово подпомагане за соларно-термични инсталации.

Фиг. 6.3 дава общ поглед върху площта колектори на 1 000 жители в различни европейски държави. След Кипър второ и трето място заемат Австрия и Гърция със съответно 334 и 274 m<sup>2</sup> на 1 000 жители. На четвърто място със значителна разлика е Германия, като средната европейска стойност е 37,3 m<sup>2</sup> на 1 000 жители.



Фиг. 6.3. Площи със слънчеви колектори в m<sup>2</sup> на 1.000 жители (Източник: EurObserv'ER 2005)

Германия е водеща в соларно-термичния сектор на Европа. По данни на Федерално сдружение Слънчева индустрия (BSi)

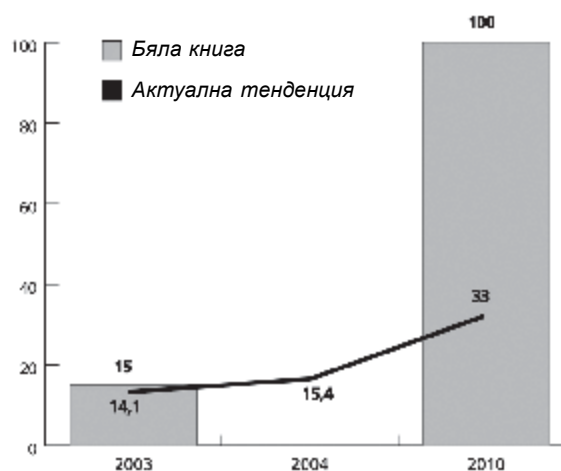
оборотът от 550 милиона Евро през 2004 год. се е запазил на нивото от предходната година, спрямо 390 мил. Евро през 2002 год., при което обаче рекордът от 2001 год., възлизащ на 650 мил. Евро, не можа да бъде достигнат.

Австрия и Гърция също спечелиха от оживлението на пазара през 2003 година: Австрийската колекторна промишленост произведе от 2002 до 2004 година съответно 330 000 m<sup>2</sup>, 407 100 m<sup>2</sup> и 500 200 m<sup>2</sup>. В гръцкия соларно-термичен сектор са заети повече от 3 200 работници; производственият капацитет превишава 250 000 m<sup>2</sup> колектори.

От актуалната динамика и конкуренция печелят крайните клиенти, на които пазарът предлага евтини и при това технически качествени продукти. Разбира се, конкуренцията на европейския пазар все още е ограничена. Защото субсидии в рамките на различни национални програми за подпомагане се изплащат само ако съответните слънчеви инсталации са изпитани от признати национални сертифициращи институции. Процесът на сертификация е скъп и поради това някои производители не могат да си осигурят достъп до чуждестранните пазари. Поради тази причина European Solar Thermal Industry Federation (Европейска федерация за соларно-термална индустрия) (ESTIF) се опитва да въведе европейска система за сертифициране (Solar Keymark), която да се признае от всички европейски сертифициращи институции.

Поставените в „Campaign for Take-Off“ цели не бяха постигнати през 2003 год.: На европейско ниво липсваха общо около 1 мил. m<sup>2</sup>, за да се достигнат заложените 15 мил. m<sup>2</sup>, които бяха превишени едва през 2004 год. вследствие на присъединяването на новите 10 страни-членки на ЕС (вж. фиг. 6.4). Защото все още почти 80 % от европейския пазар зависят от ситуацията в три държави на ЕС (Германия, Австрия и Гърция) и това води до известна нестабилност на пазарната динамика. При тези условия е малко вероятно да се постигнат целите на Европейската Комисия

за 2010 год. (инсталиране на 100 мил. m<sup>2</sup> колектори): първо защото, въпреки водещата си роля, Германия все още е далече от поставените цели и второ, защото в много европейски страни пазарът за соларно-термична индустрия не се развива достатъчно (напр. Италия, Холандия, Великобритания и Португалия).



**Фиг. 6.4. Инсталирани колектори в ЕС в милиони m<sup>2</sup>: Сравнение между актуалната тенденция и целите на Бялата книга (Източник: EurObserv'ER, 2005)**

Въпреки многообещаващата ситуация в страни като Франция, Испания и Белгия, прогнозите за 2010 год. по отношение на инсталираната мощност в Европа са само 33 милиона m<sup>2</sup>.

### 6.1.2. Европейски стратегии за развитие на слънчевата топлинна индустрия

Опазването на климата също е тема на националната и международна политика. Най-важното международно споразумение със сигурност е Протоколът от Киото от 1997 година, с който индустриалните държави се задължават през периода от 2008 до 2012 година да намалят най-малко с 5 % нивото от 1990 год. на общите емисии на най-важните, причиняващи парников ефект, газове. Заедно с останалите страни – членки на ЕС, Германия ратифицира през 2002 год.



Протокола от Киото и в рамките на изравняване на задълженията вътре в ЕС се задължи, чрез намаление с 21 % до първия задължителен период (2008 – 2012 год.) да допринесе за постигане на общата цел на ЕС: намаление с осем процента. През 1997 год. Европейската комисия в Бялата книга за възобновяеми енергии си постави целта, да удвои дела на възобновяемите енергии в общото брутно вътрешно енергийно потребление на ЕС като от около 6 % през 1997 год. го увеличи на 12 % през 2010 год. („Цел за удвояване” на ЕС). Абсолютният обем на възобновяемите енергии трябва обаче да нарасне два и половина пъти спрямо предишната стойност, за да се постигне относително удвояване.

Най-голямо увеличение се очаква при използването на биомасата. Ръстът на възобновяемите енергии трябва да се осигури на 80 % от биомаса, чийто дял трябва да се увеличи три пъти, а абсолютният ѝ дял - три и половина пъти, за което ще допринесе и субсидирането на биогоривата.

От другите възобновяеми източници на енергия се очаква по-малък абсолютен растеж, което обаче в някои случаи може да доведе до относително още по-високо увеличение, отколкото при биомасата – напр. при вятърните и слънчевите термични инсталации.

На национално ниво Германия също си е поставила цел за удвояване: Делът на възобновяемите енергии трябва да се увеличи до 2010 год. на 4 процента (през 2000 г. той е бил 2 %) и след това да продължи значително да нараства.

За да се разшири динамиката на соларно-термичния сектор, е необходима солидна законова рамка на европейско ниво. Европейският съюз подкрепя соларно-термичния бранш по различни начини, най-вече с директиви и закони, но също така и с програми за насърчаване (като напр. Интелигентна енергия за Европа или 6. Изследователска рамкова програма).

Трябва да споменем и кампаниите на различни нива за обществено

популяризиране на темата и, не на последно място, провежданите мероприятия за квалификация и обучение.

Пазарът на слънчеви топлинни инсталации ще се развие добре едва тогава, когато инсталирането на слънчеви колектори и фотоволтаици започне да се възприема като нещо напълно обичайно и естествено както от страна на архитектите, строителите и различните специалисти по инфраструктурата, така също и от потребителите, и съответно, когато вследствие на това цените на инсталациите се понижат.

### **Директива за отопление и охлаждане с възобновяеми енергии**

В публикуваната през 1997 год. от Комисията Бяла книга набелязаната цел е двукратно увеличение на дела на възобновяемите енергии в потреблението на ЕС – то трябва да достигне 12 % през 2010 год. С директивата за производство на електричество от възобновяеми източници поставената цел е 22 % от електроенергията, респ. 6 % от общото енергийно потребление, да се произвежда от възобновяеми енергии. Освен това, директивата за биогоривата предвижда 1 % от общото енергийно потребление да се покрие от биогенни горива. От тук следва, че останалите 5 % от предвидените 12 % трябва да дойдат от възобновяеми източници на енергия за отопление и охлаждане (биомаса, слънчева и геотермална енергия и др.), въпреки че за това не е формулирана ясна цел. Все пак в Бялата книга са поставени цели в сферата на възобновяемите енергии за отопление и охлаждане за определени сектори, а тяхното развитие се подкрепя и от директивата за общата енергийна ефективност на сградите, но не и директно в европейското законодателство.

В тази директива се разглеждат най-вече съществуващи сгради с площ, по-малка от 1000 m<sup>2</sup>, които обаче имат огромен потенциал. Този пропуск в политиката на ЕС би могъл да намали шансовете за достигане

на поставените цели относно възобновяемите енергии. Трябва да се има пред вид, че 50 % от енергопотреблението в Европа се използват за отопление на помещения и загряване на вода, както за лични нужди, така и за промишлеността. Затова една директива за насърчаване на отоплението и охлаждането чрез възобновяеми енергии е крайно необходима и желана от различните сектори на промишлеността. През 2004 год. ESTIF в сътрудничество с European Renewable Energy Council (EREC) започна организиране на различни групи по интереси (като индустриални съюзи, изследователски институти, неправителствени организации от сферата на опазване на околната среда и др.п.). За да може да се реализира една такава директива, мнозинството от страните-членки трябва да подкрепят този процес.

Използването на възобновяемите енергии за отопление и охлаждане има голям потенциал, въпреки че все още не е много разпространено. Те имат различен пазарен дял в отделните страни-членки на ЕС, въпреки че това не се дължи непременно на наличието или отсъствието на природни ресурси.

### 6.1.3. Слънчева енергия и перспективи за използването ѝ в селските райони

Това, което се отнася за използването на слънчевата енергия в града, важи и за селските райони, но именно тук са налице значително по-благоприятни условия за приложение на слънчеви топлинни инсталации: големи, незасенчени покривни повърхности – които досега се използваха по-скоро за инсталиране на слънчеви инсталации за електричество. В соларно-топлинната сфера липсват решения, съобразени със селските райони. При това слънчевите термични инсталации представляват икономическа алтернатива предвид увеличаващите се разходи за фосилни горива, когато става въпрос за отопление и осигуряване на топла вода.

Чрез прилагането на слънчеви термични инсталации особено предприятията за биологично селско стопанство могат да демонстрират с рекламен ефект своите екологични претенции.

### 6.1.4. Влияние върху околната среда

Слънчевата енергия може да замени традиционните горива като въглища, нефт и газ, и по този начин да намали замърсяването на околната среда, напр. емисиите на CO<sub>2</sub>, като освен това при нея ги няма рисковете, свързани с атомната енергия. Чрез използването на слънчевата енергия могат да се икономисват ограничените запаси от фосилни ресурси, за да могат те и в бъдеще да се използват за други цели, а не само за производство на енергия чрез изгаряне. В сравнение с традиционното производство на енергия, при слънчевата техника отпадат разходите, рисковете и загубите при транспортирането и разпределението, тъй като енергията се използва директно на мястото, където е произведена.

Дори като се вземат предвид разходите, вложени в производството и свързани с постоянната експлоатация на слънчевите инсталации, които до известна степен се изплащат за сравнително кратко време, слънчевите системи допринасят трайно за пестенето на фосилните източници на енергия и за намаляването на вредните емисии.

При съществуващото в Германия високо съзнание по отношение на околната среда, опазването на климата и природата са важни аргументи в полза на инсталирането на слънчеви инсталации. Дори опростените, но технически издържани термични слънчеви инсталации за подгряване на вода, могат да заместят невъзобновяемите първични енергии като нефт, газ или въглища.

Чрез използването на слънчева инсталация едно четиричленно домакинство може да спести годишно около 300 литра мазут, респ. 300 m<sup>3</sup> газ или 3 000 kWh. Със слънчеви

системи, покриващи част от нуждата от отопление, балансът се подобрява още повече. Още по-икономични са така наречените слънчеви отоплителни системи на къси разстояния с дълготрайни топлинни акумулатори, които могат да покрият соларно 50 и повече проценти от общите топлинни нужди на цели селища и които в още по-голям размер допринасят за пестенето на фосилните източници на енергия.

## 6.2. Техника за производство на слънчева енергия

### 6.2.1 Типове инсталации

Най-важната конструктивна част на една слънчева топлинна инсталация е колекторът, който ефективно превръща слънчевото излъчване в топлина. Топлината се отнема от колектора чрез воден или въздушен поток и се отвежда за потребление. (Терминът “колектор” произхожда от латински и означава “акумулатор”). Слънчевите термични инсталации (колекторни инсталации) намират следното приложение:

- загряване на вода за битови нужди;
- подпомагане на отоплението на помещения;
- соларно централно отопление за къси разстояния;
- подгръване на водата в плувни басейни;
- предварително подгръване на пресен въздух;
- соларно охлаждане.

#### Загръване на вода за битови нужди и подпомагане на отоплението на помещения

По-голямата част от слънчевите топлинни инсталации се използва за загряване на вода за битови нужди и евентуално за подпомагане на отоплението на помещения. Най-големият пазар за тях са едно- и двуфамилните сгради, но напоследък все повече големи обекти, например,

многофамилни сгради, хотели и болници, се оборудват с колекторни инсталации.

Слънчевите инсталации се състоят в основни линии от следните компоненти:

- колектор;
- тръбопроводи (тръбопроводна система);
- слънчева станция с управляващ блок;
- акумулиращ резервоар и топлообменник.

Топлината от колектора се отвежда по тръбопровода до добре изолиран воден резервоар като за топлоносител служи антифризна смес от вода и глицерол. Един топлообменник разделя затворения колекторен циркуляционен кръг от слънчевия акумулиращ резервоар, който е напълнен с вода. Слънчевата станция с помпа, предпазни уреди и управляващ блок осигурява при всички режими на работа правилно функциониране на слънчевата инсталация. Горната част на акумулиращия резервоар при необходимост може допълнително да се загрее до желаната температура на водата с помощта на отоплителен котел, така че захранването винаги да е гарантирано.

#### Соларно централно отопление

Слънчевите системи за централно отопление със сезонно акумулиране са подходящи за селища с повече от 100 жилищни единици. Слънчевите инсталации от този вид имат голяма колекторна повърхност и много голям дълготраен акумулиращ резервоар, който може да бъде вкопан в земята. Слънчевата топлина от акумулиращия резервоар се разпределя до потребителите чрез традиционната отоплителна система. Терминът “сезонно акумулиране” се свързва с факта, че произведената от слънцето топлина може да се съхрани за период от няколко месеца. По този начин се компенсират изместването по време между слънчевото греене и максималното потребление на топлина и произведената през лятото енергия може да се използва за отопление през зимата. Реализираните в Германия пилотни инсталации могат да покрият около 50 % от общото потребление на топлина (отопление и топла вода) на дадено населено място.

*pro aere*



### Подгръване на водата в плувни басейни

За подгръване на водата в открити басейни се използват пластмасови матраци без допълнителна изолация, които по правило се обтичат директно от водата за басейна. Слънчевите лъчи загряват филтрираната вода преди тя да се подаде в басейна. Изолация на абсорбиращите матраци не е необходима, тъй като желаната крайна температура (25 °C до 28 °C) на практика е равна на температурата на въздуха при условия за къпане и, съответно, загубите на топлина са малки. Слънчевите инсталации за загряване на водата в плувни басейни са сравнително евтини и използването им към днешния момент е икономически изгодно.

### Предварително подгръване на пресен въздух

Слънчеви инсталации с въздушни колектори могат да се използват за предварително подгръване на подавания пресен въздух, особено за големи обекти като производствени помещения, закрити басейни и многофункционални халета. Инсталациите с въздушни колектори могат освен това да се използват за подпомагане работата на въздушни отоплителни инсталации, например в жилищни сгради. Възможно е също така излишната топлина през лятото с помощта на въздушно-воден теплообменник да се използва за загряване на вода. Въздушните колектори могат безпроблемно да се експлоатират в комбинация с инсталации за извличане на топлина от отработен (използван) въздух.

Въздушните колектори се състоят от ребрест абсорбер (алуминиев профил с успоредни канали), който се обтича от въздуха по посока на ребрата. Абсорберът е разположен в камера, чиято задна стена е термоизолирана, а предната ѝ страна е покрита със стъкло. Загретият въздух се подава с вентилатор във вентилационната или отоплителна система. Инсталациите с въздушен колектор са сравнително по-евтини от колекторните инсталации за топла вода, тъй като не е необходим акумулиращ резервоар. Освен това изискванията към техниката на системата не са така големи,

понеже въздухът като топлоносител не може нито да замръзне, нито да се прегрее.

### Соларно охлаждане

Понятието „соларно охлаждане“ обединява устройства за охлаждане и климатизация, при които добитата в слънчеви инсталации топлина се използва за получаване на ниски температури. Това може да става от една страна с хладилни машини, които по функционален принцип могат да се сравняват с хладилник и произвеждат студена вода, служеща за охлаждане на въздуха. В този случай за добиване на необходимата за процеса топлина се използват провеждащи вода колектори. Другата възможност се състои в това, подаваният въздух да се охлажда директно чрез подходящо последователно изсушаване и овлажняване, при което се използват въздушни колектори. Едно от предимствата на соларното охлаждане се състои в едновременното наличие на необходимост от охлаждане и производство на слънчева топлина, тъй като температурата в помещенията се повишава в дни с интензивно слънчево греене (и съответен висок добив на енергия от слънчевата инсталация).

По-долу ще бъдат разгледани най-вече слънчеви топлинни инсталации за топла вода в едно- и двуфамилни къщи.

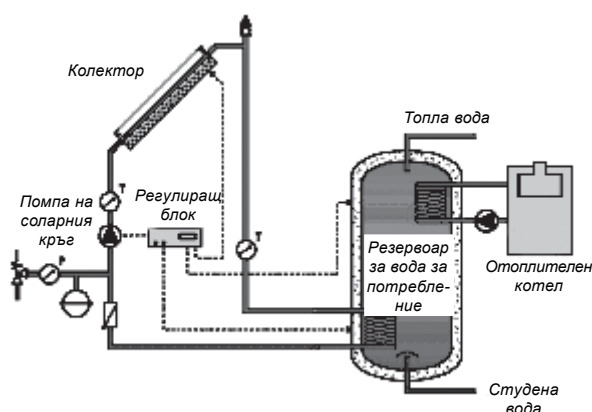
### Стандартна слънчева инсталация

По принцип стандартните слънчеви инсталации се състоят от едни и същи компоненти, показани на фиг. 6.5.

Слънчевият кръг е отделен от системата за топла вода и допълнителното подгръване (фиг. 6.6). Това се налага от обстоятелството, че този циркуляционен кръг работи с водно-глюколов разтвор за защита от замръзване. Топлината от колектора се предава на питейната вода през теплообменник. Теплообменникът на колекторния кръг е разположен долу в резервоара, а теплообменникът на котела в горния участък (участък в готовност). По този начин

Символ	Наименование	Функция
	Колектор	Производство на топлина от слънчевото излъчване
	Резервоар	Акумулиране, съхранение, отдаване на топлина
	Топлообменник	Топлинен преход между течни среди
	Разширителен съд	Буфер за налягане при различни работни режими
	Предпазен вентил	Предотвратяване на свръхналягане
	Възвратен вентил (инерционна спиратка)	Предотвратяване на неправилен поток
	Циркулационна помпа	Циркулация на необходимия обменен поток
	Индикатор за налягане	Индикация на състоянието на налягането
	Индикатор за температура	Индикация на температурата
	Автоматичен бързодействащ въздушен клапан	Самостоятелна вентилация
	Соларно управление	Регулиране на циркулационната помпа

Фиг.6.5. Типични компоненти на соларна инсталация



Фиг.6.6. Типична конструкция на соларна инсталация

слънчевият циркуляционен кръг винаги има най-ниската температура в резервоара, което осигурява висок коефициент на полезно действие в колектора.

Слънчевият кръг винаги има приоритет. Това може да се постигне чрез настройка на регулиращата уредба и позициониране на датчиците. При недостатъчно слънчево греене се включва допълнително подгриване от котела през горния топлообменник. При това топлоснабдяването през зимата се прекъсва (предимство за включване на резервоара). Когато се достигне зададената температура на запасния участък, регулиращата уредба изключва помпата за зареждане на резервоара и отново включва помпата на отоплението.

През лятото котелът се включва при необходимост ръчно. Ако и през лятото включването на котела и допълнителното подгриване се управляват от външната температура, евентуални повреди на слънчевата инсталация могат да останат незабелязани поради постоянното наличие на топла вода.

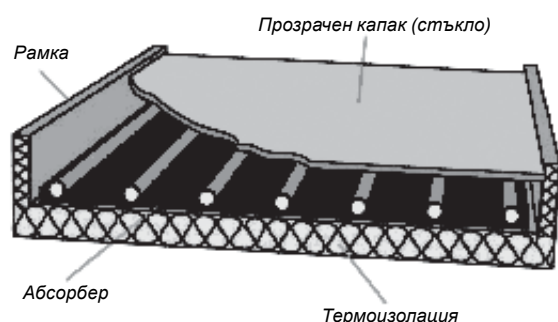
По-долу ще бъдат представени плосък колектор, вакуумен тръбен колектор и вакуумен плосък колектор, а в края на раздела ще посочим и други типове колектори.

### 6.2.1.1. Плосък колектор

Всички предлагани на пазара плоски колектори се състоят от топлопроводящ листов материал с интегрирани тръби (абсорбер), челно покритие от стъкло и топлоизолация на долната и страничните стени. Тези компоненти са монтирани в лека рамкова конструкция (вж. фиг. 6.7).

Колекторът функционира на принципа, при който късовълновите слънчеви лъчи проникват през стъклото и при

попадането в колектора се превръщат в дълговълново лъчение (топлина), която само частично може да се излъчи навън. Затова основната част на всеки колектор е абсорберът.



Фиг. 6.7. Типична конструкция на плосък колектор

### Абсорбер

В колектора абсорберът функционира като разположен на слънце градински маркуч и превръща слънчевите лъчи в осезаема топлина. В типичния колектор абсорберът е от мед, медно-алуминиева сплав или хром-никелова стомана с черно покритие. Когато слънчевите лъчи попаднат върху абсорбера, по-голямата част от тях се абсорбира, а малка част се отразява. Абсорбираното излъчване произвежда топлина, която се предава на топлопреносните тръби в ламаринените платна.

В тръбите тече топлопреносна течност, която поема топлината..

За оптималното топлопренасяне от особено значение е начинът на свързване на тръбите с листовите платна на абсорбера. Освен че трябва да отговаря на тези механични изисквания, абсорберът трябва не само добре да абсорбира, а и да излъчва възможно минимално количество от своята топлина. Тези загуби от излъчване се наричат емисионни загуби. Абсорбер с нормално черна повърхност излъчва почти безпрепятствено топлина, т.е. той има много висок емисионен коефициент. Това излъчване на топлина се възпрепятства от стъклото понеже представлява дълговълново излъчване, но в същото време то загрява стъклото, поради което възникват големи загуби на топлина. Чрез монтиране на второ стъкло тези топлинни загуби могат

да се намалят, но това би ограничило също така и пропускането на светлина.

Тук може да помогне селективното покритие на абсорбера. То намалява загубите от излъчване с 10 – 15 % в сравнение с нормалните черни абсорбери. Тази специално обработена повърхност на абсорбера вече се е наложила при производителите.

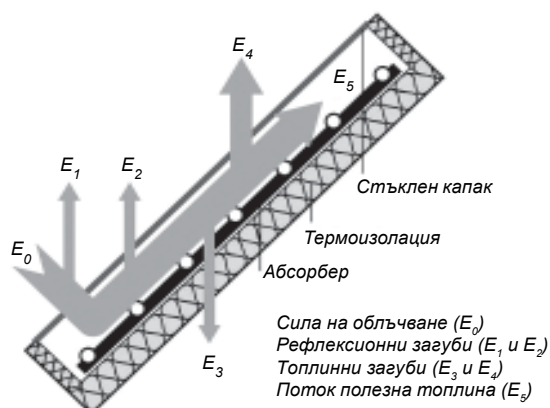
### Корпус и стъклен капак

За да се предпази абсорберът от атмосферни влияния и загуба на топлина, той трябва да е покрит със стъкло и да е изолиран със специален материал или посредством вакуум. Соларното защитно стъкло трябва да съдържа малко желязо, за да има възможно висока светло-пропускателна способност.

Устойчивостта му на натиск (налягане) е около  $700 \text{ N/mm}^2$ . За сравнение: подсилена със стъклени влакна пластмаса, напр. за производство на сърфове, е с устойчивост на натиск около  $250 \text{ N/mm}^2$ .

Защитното стъкло е закалено и предварително напрегнато, за да може да издържа напр. на ударите на градушка. Допълнителна сигурност гарантира това стъкло и при счупване, защото се разпада на множество парченца, което намалява опасността от злополука. Корпусът на колектора трябва да обединява отделните компоненти така, че загубите на топлина по време на експлоатация да са минимални. Разлики между температурата на абсорбера и околната температура от порядъка на 40 K са нормални и изискват много добра изолация отстрани и отзад. Добрият колектор се отличава с минимални загуби на топлина.

Плоските колектори се произвеждат в различни големини. Определяща за добива на енергия е активната абсорбираща повърхност, която превръща лъчението в топлина. Повърхността на корпуса на



**Фиг. 6.8. Енергийни потоци в плосък колектор**

колектора (бруто повърхност) респ. на стъкления капак (апретурна повърхност) играят друга роля в техниката. Бруто повърхността определя напр. нуждата от място върху покрива; апретурната повърхност е базовата повърхност за коефициента на полезно действие на колектора.

Друг фактор за висок добив на енергия е възможно малката загрявана маса (0,4 до 0,6 л/м<sup>2</sup> топлопленосна течност), което дава възможност за бързо реагиране на променящото се лъчение.

### 6.2.1.2. Физика и топлотехника

#### Енергийни потоци

Видимото лъчение прониква през стъклото почти безпрепятствено, тъй като във видимия обхват то има висока пропускателна способност – над 90 % (пропускане). Черният абсорбер превръща видимото лъчение в топлина, което води до силно загряване на абсорбера (абсорбция). Тъй като всяко загрято тяло излъчва топлина, възникват загуби от излъчване (емисия)(фиг. 6.8).

Поради минималната пропускателна способност на стъклото за инфрачервени (IR) лъчи, инфрачервеното излъчване може само ограничено да напусне колектора (парников ефект). Различните качества на излъчване на нормалните и селективните

абсорбери показват, че последните са значително по-подходящи за добиване на слънчева топлина.

#### Мощност на колектора

Мощността на даден колектор се определя на базата на печалба и загуби. Печалба е поетата енергия на излъчване, загубите са оптични и термични. За да се изчислят печалбите под формата на лъчиста енергия, е необходим абсорбционният коефициент  $\alpha$ , коефициентът на пропускане  $\tau$  и мощността на облъчване  $E_g$  (интензивност на слънчевата радиация).

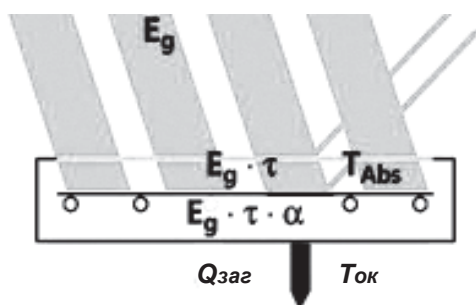
Лъчистите загуби описват дела на слънчевото излъчване, който не може да се поеме от абсорбера. За изчисляването им е необходимо произведението на коефициента на пропускане ( $\tau$ ) и коефициента на абсорбция ( $\alpha$ ), защото чрез тях се намалява ефектът на облъчване ( $E_g$ ).

Опростено представени, термичните загуби зависят от температурната разлика между абсорбера и околната среда, както и от конструкцията на колектора (фиг. 6.9).

Произведението от коефициента на топлопреминаване  $U$  и температурната разлика между абсорбера и околната температура ( $T_{\text{Абс}}$  минус  $T_{\text{ок}}$ ) дава загубите на топлина ( $Q_{\text{заг}}$ ).

#### Графична характеристика на коефициента на полезно действие

От енергийния баланс между лъчистите, респ. термични загуби от една страна и печалбата от абсорбираното излъчване от друга може лесно да се изведе изображението на к.п.д. на колектора. Коефициентът на полезно действие на даден колектор може да се изрази по-просто като съотношение на полезната топлоенергия към попадащата върху него слънчева енергия. Полезната топлинна мощност е равна на мощността на колектора ( $Q_{\text{коп}}$ ) и се получава чрез изваждане на загубите от печалбите. Отношението на полезната топлинна енергия към силата на облъчване представлява к.п.д. на колектора ( $\eta$ ).



#### Характеристики

$\tau$  = Трансмисионен коефициент  
 $\alpha$  = абсорбционен коефициент  
 $k$  = коефициент за топлопреминаване

#### Метеорология

$E_g$  = Интензивност на слънчевата радиация  
 $T_{ок}$  = Околна температура

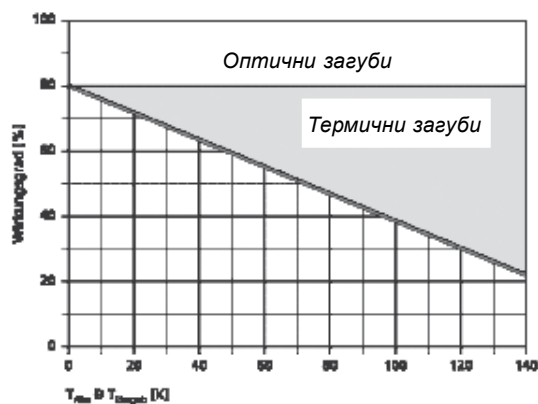
$E_g$	$W/m^2$	интензивност на слънчевата радиация
$E_g \tau \alpha$ к (Табс – Ток)	$W/m^2$ $W/m^2$	абсорбирана радиация топлинни загуби
$Q_{кол} =$ $E_g \tau \alpha$ - к (Табс – Ток)	$W/m^2$	мощност на колектора = - печалба – загуба

#### Коефициент на полезно действие на колектора

$$\eta = \frac{Q_{кол}}{E_g} = \tau \alpha - k \cdot \frac{T_{абс} - T_{ок}}{E_g}$$

Фиг. 6.9. Енергиен баланс и к.п.д. на колектора

Това опростено изчисляване на к.п.д. на колектора дава съответни характеристики. Вижда се ясно, че с увеличаване на температурната разлика ( $\Delta T$ ) к.п.д. спада. Фиг. 6.10 показва лъчистите загуби, които не зависят от  $\Delta T$ , както и термичните загуби, които нарастват с увеличаване на  $\Delta T$ .



Фиг. 6.10. Диаграма на к.п.д.

#### Стагнационна температура

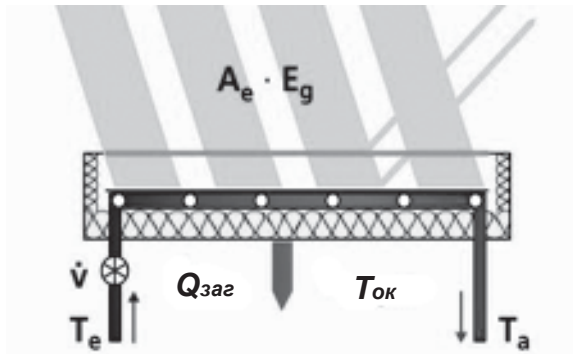
Когато от колектора не се извлича топлина под формата на полезна енергия, температурата се повишава дотогава, докато добивите и загубите се изравнят. Това означава, че цялата абсорбирана мощност

на лъчение се губи поради топлинни загуби. В този случай вече не може да се отдава полезна мощност; следователно, к.п.д. е равен на нула ( $\eta = 0$ ). Тази стагнационна температура се нарича също температура на застой, защото при увеличаването на температурата е достигнато състояние на застой (покой).

#### Производство на топлина

За да се добие от колектора полезна енергия, чрез слънчевия циркуляционен кръг трябва да се отведе топлина. Извличането на тази полезна енергия зависи от производствените условия на колектора. За да се направи изчисление, трябва да са известни стойностите на топлопреносната течност - специфичната плътност  $\rho$  и специфичния топлинен капацитет  $c_p$ . След определяне на производствените условия: температура на входа  $T_e$ , температура на изхода  $T_a$  и обемен поток  $\dot{V}$ , може да се изчисли топлинната мощност на колектора. Когато тази топлопроизводителност се наблюдава в продължение на определен период от време, се получава съответният топлинен добив на колектора. Ако се изчисли съотношението на топлинния добив на колектора към слънчевото облъчване през това време, се получава к.п.д. на колектора за съответния период.





$A_e$  = абсорбираща повърхност ( $m^2$ )

Производствени условия

$T_e$  = температура на входа

$T_a$  = температура на изхода

$V$  = обеман поток ( $l/h$ )

Стойности на материала

$\rho$  = специфична плътност ( $kg/l$ )

$cr$  = специфичен топлинен капацитет [ $Wh/(kg.K)$ ]

Добив на топлина през интервал от време  $\Delta t$

$$Q_{кол} = \Delta t \cdot V \cdot \rho \cdot cr \cdot (T_a - T_e)$$

Изм. единици  $Wh = h \cdot l/h \cdot kg/l \cdot Wh/(kg \cdot K) \cdot K$

Соларно облъчване през интервал от време  $\Delta t$

$$H_{кол} = \Delta t \cdot A_e \cdot E_g$$

Изм. единици  $Wh = h \cdot m^2 \cdot W/m^2$

К.п.д. на колектора спрямо попадналата слънчева

енергия през интервал от време  $\Delta t$

$$h = \frac{Q_{кол}}{H_{кол}} = \frac{\Delta t \cdot V \cdot \rho \cdot cr \cdot (T_a - T_e)}{\Delta t \cdot A_e \cdot E_g}$$

**Фиг. 6.11. Топлопроизводство и к.п.д. в колектора**

С помощта на тези величини могат да се изчислят както температурната разлика  $\Delta T$ , така също и обемният поток  $\dot{V}$ , които са от голямо значение за практическото използване на инсталацията. Оптималната температурна разлика би трябвало да бъде припл. 5–10 K, а обемният поток в колекторния кръг 30 до 50 л/ $m^2$ .

### 6.2.1.3. Вакуумен тръбен колектор

Абсорбиционният ефект в плоския и тръбния колектор е идентичен. Разлики съществуват по принцип в термоизолацията.

При тръбния колектор абсорберът е вграден във вакуумирани стъклени тръби, за да се намалят топлинните загуби. Вакуумът притежава добри топлоизолационни качества (принцип на термоса), загубите на топлина почни напълно са редуцирани. Дори при температура на абсорбера 120 °C и нагоре стъклената тръба остава студена отвън.

#### Стъклени тръби

Вакуумните тръбни колектори се състоят от стъклени тръби, защото само тази конструктивна форма може да устои на високото външно налягане на въздуха. Възникващите при почти пълния вакуум сили се поемат много добре от високата устойчивост на натиск на тръбната форма. В съвременните вакуумни тръбни колектори остатъчното налягане е 5 до 15 mPa. За сравнение: Налягането на атмосферния въздух върху земната повърхност е приблизително 100 kPa.

По отношение на стъклото трябва да се подчертаят две основни разлики:

- Боро-силикатно стъкло (CORTEC, DORNIER- PRINZ)
- Натриево стъкло (Thermotax-тръби, Sydney-тръби)

На често изказваното от клиентите опасение, че вакуум и стъкло са два много чувствителни материала, може да се опонира със следния аргумент: Високото налягане на атмосферата върху стъклената тръба предизвиква значително напрежение на натиск и плъзгане, така че стъклото загубва въпросните си качества и може да се разглежда като изключително твърд материал. С течение на времето голямата разлика на налягането спрямо околната среда води чрез проникване на водород от въздуха до намаляване на изолационното действие. Производителите посрещат това обстоятелство по различен начин: от една страна се препоръчва просто смяна на вакуумните тръби, а от друга проникващият водород може да бъде уловен химически чрез специални, т.н. *getter*. В слънчева къща Фрайбург от 1978 год. работят вакуумни

колектори, които в момента дават само около 80 % от първоначалните им добиви.

### Транспорт на топлина

Транспортът на топлина от вакуумно-тръбния колектор може да се осъществи по два начина:

- *Директно протичане*: Носещият топлината флуид протича директно през намиращия се под вакуум абсорбер

- *Термо-тръбна техника*: Транспортът на топлина от абсорбера към топлопреносния флуид се осъществява в затворена тръба.

Вакуумните тръбни колектори с директно протичане могат да се инсталират независимо от тяхното положение на монтаж. Това означава, че вертикални връзки по фасадите на сградите и парапетите на балконите са също толкова възможни, колкото и хоризонталният монтаж върху плоски покриви. При тези вакуумни колектори топлоносителят преминава или през система тръба-в-тръба до дъното на стъклената тръба и тече в обратен поток като при това поема топлината от абсорбера, или протича през U-образна тръба.

Другата техника на транспорт на топлината използва допълнително топлопренасяне и се нарича още вакуумна тръба *Heat-Pipe*. При този тип колектори абсорберът е свързан топлопроводимо метално с *Heat-Pipe*. Топлинната тръба е пълна с алкохол, който поради подналягането се изпарява при ниски температури. В горния край на тръбата освобождаваната при кондензацията топлина се предава на протичащата покрай нея топлопреносна течност. Охладеният кондензиран алкохол изтича под действието на гравитацията обратно в термотръбата за повторно поемане на топлина. За да функционира този процес, тръбите трябва да се монтират под наклон от най-малко 30°.

Вакуумната тръба *Heat-Pipe* се предлага с една суха и една мокра връзка на термотръбите към слънчевия кръг

При първата връзка термотръбата се поема от кондензатор. Теплопредаването се осъществява от кондензатора и клемна

връзка към топлопреносната течност. Това дава възможност за смяна на дефектни тръби без изпразване на слънчевия кръг. Предимство има и при монтажа: Тръбите могат да се поставят на покрива като последна работна операция след като са завършени предходните работи, вкл. хидравличното изпитване на херметичността.

При мократа връзка кондензаторът се потапя в топлопреносната течност и предава топлинната енергия директно на обтичащата го течност. Предимството тук е, че се избягват допълнителните топлинни преходи на клемните връзки, които водят до високи температури на абсорбера. Някои производители използват вода вместо алкохол като топлоносител. Досегашните тестове не дават предимство нито на единия, нито на другия принцип.

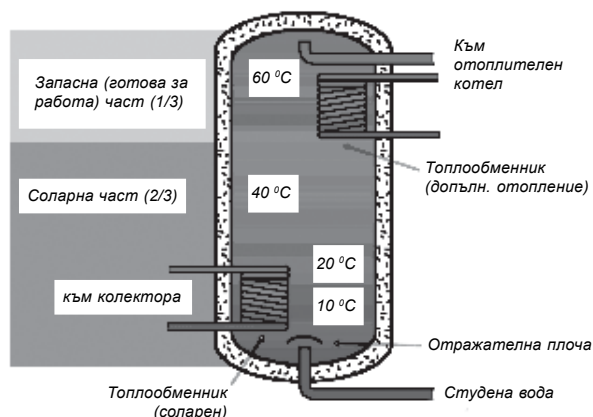
### 6.2.1.4. Акумулиране на топлина

При слънчеви инсталации за топла вода за едно- и дву-фамилни сгради обикновено се използват двувалентни резервоари с обем от 300 до 500 литра и два топлообменника: долен за свързване към колекторния кръг за слънчево затопляне на водата и горен за свързване към отоплителния котел за допълнително загряване. Поради различната плътност на топлата и студената вода в резервоара се получава температурно разслояване. По-леката топла вода се събира в горната, а по-тежката студена вода в долната част на резервоара.. Това температурно разслояване е толкова по-изразено, колкото по-тесен и висок е резервоарът. При тесните резервоари температурното изравняване между слоевете извън периодите на зареждане е ограничено.

Студената долна зона осигурява работа на колекторите с висок к.п.д. и при ограничено слънчево облъчване.

Към високо производителния соларен резервоар спада и добра термоизолация. Тя трябва да е с дебелина 10 см до 15 см като включва и дъното на резервоара, да прилепва навсякъде добре (в противен

случай се получават загуби от конвекция) и да се състои от несъдържащи FCKW и PVC материали. Свързващите елементи на топлообменника за допълнително подгриване и за изчерпване на топла вода трябва да се изведат от изолацията по възможност в долния участък на резервоара, за да се избегне нарушаването на топлоизолацията в горната гореща зона и по този начин да се намалят загубите на топлина.



**Фиг. 6.12. Соларен резервоар с два топлообменника**

Ако поради твърдостта на водата следва да се очаква силно отлагане на варовик, температурата в акумулация резервоар трябва да се ограничи до около 60 °C. В противен случай повърхностите на топлообменника могат да се покрият с варовик, тъй като той се отлага при температури над 60 °C. Слой само от 2 мм намалява пренасяната мощност на топлообменника с 20 %, а при слой с дебелина 5 мм може да се стигне и до 40 %. Повишаването на температурната разлика между входа и изхода с повече от 15 K може да бъде знак за покрит с варовик топлообменник.

### Връзки на резервоара

**Студена вода:** Отражателна плоча, монтирана в резервоара над входа за студена вода, предотвратява смесването на постъпващата студена вода с топлата вода в по-горните слоеве и разрушаването на разслояването в резервоара.

**Топла вода:** При традиционните резервоари топлата вода се черпи с помощта на изведен нагоре тръбопровод. След затваряне на мястото на отвеждане (местовземане) останалата в тръбата топла вода отново се охлажда и се образува водопад от студена вода, достигащ до горните слоеве в резервоара. Това води до разрушаване на температурното разслояване и може да причини загуби на топлина от порядъка на до 15 % от общите загуби на резервоара. Затова е по-добре тръбата за отвеждане на топла вода да се прокара отгоре надолу вътре в резервоара и връзката да се реализира с подов фланец. По този начин отпадат и допълнителните загуби на топлина поради нарушаване на изолацията в горния участък на резервоара. Тъй като температурата на водата може да бъде 60 °C и повече, е целесъобразно да има термостатичен смесител, който да ограничава температурата на водата в тръбопроводната мрежа до желаното ниво. По този начин се осигурява защита от изгаряне и се избягват ненужни загуби на топлина. За настройка, респ. корекция на зададената температура се препоръчва допълнително монтиране на термометър зад смесителя. Тъй като водният смесител е чувствителен на замърсявания, в тръбопровода за студена вода трябва да има филтър.

**Топлообменник:** Връзките на топлообменника към слънчевия кръг и кръга за допълнително подгриване трябва да се прекарат през подов фланец (зона за студена вода на резервоара), за да се намалят загубите на топлина. Топлообменникът за слънчевия кръг се разполага възможно най-долу в резервоара, за да може съдържанието на резервоара да се загрева до дъното. Разположението на топлообменника за допълнително подгриване в горната зона на резервоара гарантира бързо загреване на запасния обем вода, без да се отнема на колекторния кръг възможността да подава ефективно малки количества соларно произведена топлина в студената част на резервоара.

**Циркулация:** За да може при дълги тръбопроводни мрежи възможно бързо да се

подаде топла вода в местата за потребление (местовземане), често се инсталират циркуляционни тръбопроводи. Циркулацията намалява разхода на вода, тъй като се избягва изтичането на ненужната студена вода в мястото на потребление.

Циркулационният тръбопровод трябва да има много добра термоизолация, за да се намалят загубите на топлина. Времето на работа на циркуляционната помпа трябва във всички случаи да е ограничено, което може да се реализира напр. с помощта на прекъсвач с часовников механизъм.

Обратната връзка на циркуляционния кръг се свързва с резервоара на около 2/3 от височината му. Недостатък на циркулацията е обстоятелството, че влияе върху температурното разслояване в резервоара. При нови строежи на едно- и дву-фамилни къщи чрез къси тръбопроводи, добра термоизолация и малък диаметър на тръбите може евентуално да се спести циркуляционният тръбопровод.

### Материал на резервоара

Резервоарите под налягане се произвеждат предимно емайлирани или от благородна стомана. Резервоарите от благородна стомана са сравнително леки и не изискват поддръжка, но са значително по-скъпи и същевременно чувствителни към вода с високо съдържание на хлор. В сравнение с тях емайлираните стоманени резервоари имат потенциален корозивен проблем, защото в питейната вода винаги има разтворено известно количество въздух, чийто кислород може да има корозиращо въздействие. Тъй като при емайлирането често има определен процент т. н. дефектни (нарушени) места, които могат да възникнат при производството или транспорта, незащитената стомана би могла да корозира. Затова емайлираните резервоари трябва да са оборудвани или с магнезиев анод, или с анод с ток от страничен източник. Магнезият е по-неблагороден от стоманата, поради което се получава галваничен елемент. В течение на годините магнезият се разтваря и предотвратява ръждясването на стоманата, поради което магнезиевият анод се нарича още жертвен

анод. При използване на анод с ток от страничен източник корозията се предотвратява чрез електрическото напрежение между анода и материала на резервоара като анодът поема функцията на неблагородния метал. Този метод има предимството, че анодът не се разтваря, а консумираната мощност е по-малка от един ват.

### Слоест резервоар

Особена форма на акумулиране на топлина се осъществява в т.н. слоести резервоари. Принципът е, соларно произведеното температурно ниво (напр. 45 °C в захранващия тръбопровод на колекторния кръг) да се подаде без да се смесва в зоната със същата температура. По този начин слънчевата топлина ще бъде веднага на разположение на нивото на използваната температура без да е необходимо първо да се загрява целият резервоар. Долната част на резервоара остава студена и колекторът може да работи с висок к.п.д. като по този начин може да се оползотворява дори и минималното слънчево излъчване.

### 6.2.1.5. Слънчева станция и регулиращ блок

За опростяване на инсталирането на слънчева инсталация основните компоненти и арматури се обединяват в т.н. слънчева станция и се предлагат като такива, предварително комплектно монтирани. В слънчевата станция са интегрирани напр. колекторната помпа, обезвъздушител, дебитомер, гравитационна спирачка, както и контролни и защитни уреди (термометър, манометър, предпазен клапан). За намаляване на загубите на топлина слънчевата станция е топлоизолирана, с монтиран извън топлинната изолация регулиращ блок.

Подобно на отоплителните инсталации и в колекторния поток има подвеждащ и отвеждащ тръбопровод. Като подвеждащ тръбопровод се означава горещият изходен тръбопровод на колектора, който води към резервоара, съответно отвеждащ

тръбопровод е студеният хранващ тръбопровод от резервоара към колектора. Колекторната помпа, манометърът и предпазният клапан, както и връзката за разширителния съд са разположени във възвратния участък на колекторния кръг, което води до ограничено термично натоварване на компонентите. Разширителният съд служи за буфер на налягането при различни режими на работа, т.е. той поема обемното разширение на топлоносителя при затопляне, докато предпазният клапан не трябва да се задейства при нормален режим на работа. Дебитомерът също е разположен във възвратния участък на колекторния кръг. Този конструктивен елемент е познат и под наименованието Taso-Setter (означение на производителя) и служи преди всичко за отчитане на обемния поток. Дебитът се ограничава преди всичко чрез степента на оборотите на колекторната помпа, фина настройка по правило не е необходима.

В отвеждащия тръбопровод на колекторния кръг задължително трябва да се предвиди възвратен клапан (гравитационна спирачка). Тъй като само термичният тласък не е достатъчен за отваряне на вентила, гравитационната спирачка предотвратява изстиването на резервоара през колектора при спиране на помпата (преди всичко нощем). Трябва да се обърне внимание на факта, че вентилът трябва да е деблокиран, т.е. да е отворен.

### Регулиране

Основната задача на регулирането на една слънчева инсталация е да управлява колекторната помпа така, че предлаганата слънчева енергия да може да се оползотворява оптимално. В повечето случаи се касае за обикновено електронно регулиране на температурни разлики.

За регулиране на температурните разлики на обикновена слънчева инсталация обикновено са необходими три температурни сонди: една сонда е инсталирана в най-горещото място на слънчевия кръг (на колекторния изпускателен отвор), втората температурна сонда се намира в долната част на

резервоара на височината на топлообменника на слънчевия кръг, третият сензор е разположен в горната част на резервоара. С помощта на температурните сонди регулиращият блок следи температурите на изхода на колектора и в резервоара и чрез реле включва колекторната помпа когато температурата на изпускателния отвор на колектора (подвеждащ тръбопровод на слънчевия кръг) е по-висока с няколко градуса от температурата в долната част на резервоара. Зареждането на резервоара се прекратява чрез изключване на циркуляционната помпа когато температурната разлика между изпускателния отвор на колектора и долната част на резервоара спадне под предварително зададената изключваща разлика или температурната сонда в горната част на резервоара отчете достигане на максималната температура.

Настройката на правилната температурна разлика на включване зависи от различни фактори. По принцип важи следното: Колкото е по-дълъг тръбопроводът на колекторния кръг, толкова по-голяма температурна разлика, респ. закъснение на включване трябва да се избере; стандартните настройки са от 5 К до 8 К. Температурната разлика на изключване обикновено е около 3 К.

Ефективността зависи между другото от това, къде са разположени температурните сонди. Колекторната сонда се закрепва или на събирателната тръба на абсорбера, или директно на абсорбера в близост до изхода на колектора. Във всички случаи е важно, температурната сонда на изпускателния отвор на колектора да отчита температурата на абсорбера при покой на инсталацията (стагнация), т.е. при изключена помпа. Температурните сонди в резервоара обикновено се инсталират като потапящи или прилепващи сонди. Поради зависещата от материала и температурата съпротивителна характеристика не може произволно да се заместват температурни сонди, които са продукти на различни производители.

*pro aere*



### 6.2.1.6. Аспекти на безопасността

#### Собствена безопасност

Всеки затворен отоплителен кръг е оборудван със защитна конструктивна група. Една такава група се състои от разширителен съд и предпазен клапан. Разширителният съд поема увеличението на обема на топлоносителя при загряване. Предпазният клапан не се задейства при режим на регулиране – инсталиран е като допълнителна защита. Той се отваря когато в затворената система се превиши определено налягане. В режим на регулиране обаче такъв случай не би могъл да настъпи, тъй като разширителният съд компенсира повишението на налягането. Тази защита съществува при всички традиционни отоплителни инсталации и инсталации за топла вода.

В колекторния кръг на слънчевата инсталация защитната конструктивна група има допълнителна функция като един по-голям разширителен съд гарантира т.н. собствена сигурност на колекторната уредба. В една традиционна отоплителна инсталация отоплителният котел може да се изключи когато не се консумира топлина. При една слънчева инсталация колекторната помпа, която пренася топлината към акумулиращия резервоар, може да се изключи, но самият колектор остава изложен постоянно на слънчевото излъчване. Ако напр. поради дефектиране на помпата (или по време на лятната отпускане) не се консумира топлина, в колектора могат да възникнат стагнационни температури над 200 °С. Подобни прегрявания водят поради изпаряване на топлопреносния флуид до твърде високо натоварване на материала и трябва да се избягват. Ако се изпари всичката топлопреносна течност, това би довело до твърде голямо увеличение на налягането. Затова разширителният съд на слънчевите инсталации се избира с такава големина, че да може да поеме цялото съдържание от топлоносител в колекторния кръг. При изпарение в колектора образуващият се, бързо увеличаващ се мехур от пари изтласква все още неизпарената течност от колектора към

разширителния съд („сухо варене“).

Оставащата в колектора суха пара при продължаващо постъпване на топлина увеличава минимално обема си така, че повишаването на налягането остава ограничено. Когато постъпването на топлина спадне, парата се кондензира и топлоносителят се изтласква от разширителния съд обратно в колектора.

#### Легионели

Във връзка със слънчевите инсталации се води също и дискусия за легионелите. Легионелите са пръчковидни бактерии, които се срещат навсякъде в сладки води. Те се размножават най-силно при температури между 25 °С и 55 °С; при температури над 60 °С те вече не са жизнеспособни. Ако се поемат през стомашно-чревния тракт, те са безобидни; опасност от инфекция съществува при вдишване. В опасна концентрация легионелите се срещат преди всичко при климатични инсталации с овлажняване на въздуха и вани с джакузи, както и в големи инсталации, в които топлата вода се задържа продължително време (напр. в хотели или болници с големи водни резервоари). Големи концентрации са измерени обаче и в електрически уреди за измиване на зъбите и устата и в душеве.

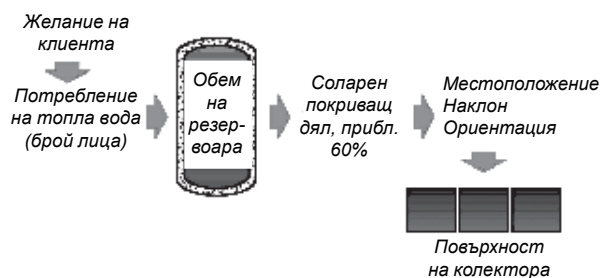
От една страна проблемът с легионелите не бива да се счита за безобиден. От друга страна не може направо да се приеме, че тъкмо използването на екологичната слънчева енергия при оптимални температури на водата от 45 °С до 50 °С е основно дискредитирана и отчасти дори да се класифицира като опасна техника, още повече, че по отношение на риска от инфекция не съществува разлика между слънчевите и традиционните инсталации за топла вода. По принцип трябва обаче да се избягват фино разпръскващите душеве, а циркулационните тръбопроводи трябва да са възможно най-къси.

## 6.2.2. Оразмеряване и енергийна ефективност

Принципно трябва да се подчертае, че оразмеряването на колекторните инсталации се определя изключително според необходимостта от топла вода. Твърде големите инсталации произвеждат през лятото излишъци, които не могат да се оползотворят, а от друга страна поради недостатъчното натоварване работят неефективно, което е свързано със сравнително ниски специфични слънчеви носители. При слънчевите инсталации за топла вода първо трябва да се вземе пред вид необходимостта от топла вода на съответния обект, а при инсталациите за подпомагане на отоплението на помещения - нуждата от топлина за отопление. В това отношение съществува разлика между изчисляването на колекторните инсталации и оразмеряването на фотоволтаичните инсталации.

Колекторите и акумулиращите резервоари са най-важните елементи на една слънчева инсталация, които трябва да бъдат оптимално съгласувани един с друг. Останалите конструктивни части на колекторната инсталация трябва да се напасват към тези два компонента.

Фиг. 6.13 онагледява последователността на основните стъпки при планирането на слънчева инсталация за топла вода.



Фиг. 6.13. Стъпки при планиране на слънчева топлинна инсталация

### Необходимо количество топла вода

Потреблението на вода на едно домакинство определя енергийния разход за производството на топла вода и затова е важна величина за изчисляване на слънчевите инсталации за топла вода. Средното потребление на топла вода е 40 до 50 л на човек на ден. Основното при планирането на слънчева инсталация, обаче, е действителното потребление, което може да варира в широки граници от под 30 л до над 120 л на човек на ден.

При изчисляването на потреблението трябва да се провери дали клиентът вече стриктно използва възможностите за пестене на питейна вода (напр. чрез пестяща вода арматура), тъй като по-малката консумация на вода позволява по-малки слънчева инсталация и съответно по-ниски инвестиционни разходи. Конкретният разход на топла вода на едно домакинство може да се определи с водомер, монтиран на захранващия водопровод за студена вода на резервоара, който трябва да се отчита ежедневно от клиента в продължение на няколко седмици. Монтирането на водомера може да се извърши от предприятие за соларни инсталации и при закупуването на слънчева инсталация съответните разходи да бъдат начислени. За планирани нови строежи, при които не е възможно измерване, би трябвало да се направи опит да се сравнят измерените стойности при жилища с възможно най-близки до тези на новите жилища характеристики, респ. с подобно ниво на комфорт, и да се съобразят с очакваното поведение на потребителите. По принцип трябва да се постави и въпросът за семейното планиране и бъдещото използване на сградата, тъй като експлоатационният живот на една слънчева инсталация е повече от 20 години.

За преценка на консумацията на топла вода могат да послужат следните средни стойности:

1 x миене на ръце (40 °C)	3 л
1 x душ (40 °C)	35 л
1 x вана (40 °C)	120 л
1 x измиване на коса	9 л

Чистене за едно лице на ден	3 л
Готвене за едно лице на ден	2 л
Измиване на съдове (50 °C) за едно лице на ден	10 – 20 л

В зависимост от поведението на потребителите и домакинското оборудване на лице и ден се получават посочените в табл. 6.2 средни стойности за потребление на топла вода (45 °C).

**Таблица 6.2. Средно необходимо количество топла вода (45 °C) на едно лице на ден**

Като ориентировъчна стойност трябва да се приеме, че средното необходимо количество топла вода (45 °C) за едно лице на ден е 40 литра плюс 5 литра за пералнята (3 л) и съдомиялната машина (2 л).

#### Обем на акумулация резервоар

Потребление	За да могат да покрият и дни с ограничено слънчево греене без да се използва допълнително обогряване, резервоарът трябва да е с вместимост
ниско	1,5 до 2 пъти по-голяма от необходимото дневно количество.
средно	2 до 3 пъти по-голяма от необходимото дневно количество.
високо	3 до 4 пъти по-голяма от необходимото дневно количество.

За 4-членно домакинство със средно потребление на топла вода (45 °C) по 50 л на човек и ден се получава типичен обем на резервоара от порядъка на 300 – 400 л.

Изборът на 300-литров резервоар (необходимо количество топла вода  $\times 1,5$ ) предполага леко намаление на консумацията на топла вода без нарушаване на комфорта, напр. чрез монтаж на ограничители на дебита, икономични душови глави, термостатни арматури и др. п. Това има положителния допълнителен ефект на по-малкия разход на вода и води до по-ниски такси за канална вода. Изборът на 400-литров резервоар (необходимо количество топла вода  $\times 2$ ) дава възможност за по-висок соларен дял в покриването на нуждите, респ. за допълнително включване на перална и/или

съдомиялна машина като същевременно се намалява консумацията на ток на тези уреди

#### Повърхност на колектора

Големината на необходимата колекторна повърхност зависи от желания соларен дял в покриването на нуждите, от слънчевото греене и типа на колектора, както и от к.п.д. на цялата система. Делът на слънчевата енергия в общите енергийни потребности за производство на топла вода се нарича соларен покриващ дял и обикновено е 50 % до 70 %. Размерът на слънчевия покриващ дял в последна сметка се определя от клиента чрез неговата инвестиционна готовност.

На базата на регионалните разлики (годишното) слънчево греене зависи между другото от местоположението на слънчевата инсталация. Освен това, върху годишната сума на попадащото лъчение влияе наклонът и ориентацията на повърхността на колектора. В никакъв случай не трябва да се смята, че за разполагане на слънчеви елементи са подходящи само покриви с южна ориентация (вж. също раздел 6.2.3). Едно увеличение на повърхността на колектора примерно с 10 % е икономически защитимо и компенсира обусловените от отклонението от оптималната ориентация по-ниски добиви. Евентуално налично засенчване, напр. от съседни сгради или строежи, намалява облъчването и съответно добивите на инсталацията. Затова по възможност трябва да се избягва засенчването на слънчевите елементи, във всеки случай влиянието на засенчването при колекторните инсталации не е така голямо, както при PV-инсталации.

Всички елементи на една слънчева инсталация имат топлинни загуби, така че различните инсталации превръщат повече или по-малко ефективно лъчистата енергия в топлина. Коефициентът на полезно действие на системата е съотношението на слънчевия добив и сумата на облъчване (инсолация) като той описва ефективността на цялата слънчева инсталация за по-продължителен период от време (обикновено една година). Слънчевите

инсталации с плосък колектор обикновено имат к.п.д. на системата около 35 %; за колектори с вакуумни тръби тази стойност е около 45 %.

При слънчеви инсталации за топла вода за едно- и дву-фамилни къщи е необходима колекторна повърхност от около 1 – 1,5 м<sup>2</sup> на човек (ориентируваща стойност), при поголеми инсталации (с по-голямо натоварване) в жилищни сгради на няколко етажа тази стойност обикновено е между 1,5 м<sup>2</sup> и 2,5 м<sup>2</sup> за едно жилище.

### Добив и соларен покриващ дял

Добивът от една слънчева инсталация се влияе от различни фактори. Към тях спада между другото различното в отделните региони облъчване, ориентацията и евентуалното засенчване на колекторната повърхност, к.п.д. на колектора, натоварването на слънчевата инсталация, избраната схема на системата, топлинните загуби на резервоара и т.н.

**Таблица 6.3. Добив и соларен покриващ дял на слънчева инсталация за топла вода в различни населени места**

Местоположение	Енергиен добив [kWh/год]	Соларен покриващ дял [%]
Зюлт (Sylt)	1 959	58
Хановер	1 783	54
Берлин	1 962	59
Франкфурт на М.	2 114	62
Вюрцбург	2 045	61
Фрайбург	2 328	68

В таблица 6.3 са посочени определените със симулационна програма T\*SOL годишни енергийни добиви от типична слънчева инсталация за топла вода за 4-членно домакинство в различни населени места в Германия. При изчисленията е изходено от следните конфигурации за еднофамилни къщи:

Потребност от топла вода: 180 литра на ден  
Ориентация на покрива: южна, 40° наклон  
Колектори: 2 x RSK 18/14  
Повърхност на абсорбера: 4,7 м<sup>2</sup>  
Обем на резервоара: 300 л

Годишните енергийни добиви са между 1 800 kWh/год. в Хановер и около 2 300 kWh/год. в богатия на слънчево греене Фрайбург. От тук резултат специфични, т.е. в този случай отнесени към повърхността на абсорбера, енергийни добиви в обхвата от 380 kWh/(м<sup>2</sup>·год.) до 490 kWh/(м<sup>2</sup>·год.). Слънчевите покриващи дялове са между 54 % и 68 %, от което следва, че съответно оразмерените слънчеви инсталации могат да покриват над 50 % нуждите от топла вода и в бедни на слънчево огряване региони.

При слънчеви инсталации с големи размери – особено през летните месеци – се получава значително количество топлина, която не може да се оползотвори за производство на топла вода и по правило не може да се акумулира. Това понижава икономическата ефективност на инсталацията. Затова в случаи на колебание не се препоръчват преоразмерени слънчеви инсталации, прибавки за сигурност при определянето на параметрите на инсталацията също трябва да се избягват. От друга страна има сегмент от клиенти, който не е за пренебрегване, съзнателно търсещи инсталации с големи размери, за да могат да продължат пълното покритие през лятото възможно по-дълго през преходния период. При подготовката на заявката на тези клиенти трябва да се обърне внимание върху излишната през лятото енергия като се подчертае, че това не представлява неправилно функциониране на инсталацията. По отношение на техниката на безопасност при едно такова оразмеряване не съществуват опасения, тъй като мерките за собствената безопасност на инсталацията трябва да се приложат във всички случаи.

### Симулационни програми

За определяне на параметрите на слънчеви термични инсталации съществуват множество симулационни програми, които

отчасти се различават една от друга по отношение на сфера на приложение, функционален обхват, точност на изчисление, леснота на усвояване и комфорт при обслужване. С подобни програми могат да се изчислят напр. топлинните потоци, температурите и естествено добивите от инсталацията, слънчевите покриващи дялове, както и к.п.д на различни слънчеви инсталации, респ. системните конфигурации за конкретно местоположение.

По принцип при използване на симулационни програми трябва да се има пред вид, че резултатите от изчисленията винаги могат да бъдат само толкова точни, колкото позволяват входните данни на потребителя и методът на симулация. Качеството на атмосферните данни, които са необходими при всяка симулация, оказва влияние върху точността на прогнозата за добива.

Със сравнително прости за приложение програми и точни входни данни се постига точност на прогнозите за добива приблизително 10 – 15 %. Симулационни изчисления с по-сложни и поради това приложими едва след основно усвояване програми могат да посочат реално измерените добиви от слънчеви инсталации с точност до около 5 %.

### 6.2.3. Условия за експлоатация на инсталацията

Цялото, попадащо върху хоризонтална или наклонена повърхност соларно лъчение, се означава общо като глобално лъчение. По отношение на хоризонтална повърхност глобалното лъчение е сумата от директното слънчево излъчване и дифузното небесно излъчване; повърхност, която е наклонена спрямо хоризонтала, улавя освен това и отразеното от земната повърхност соларно лъчение.

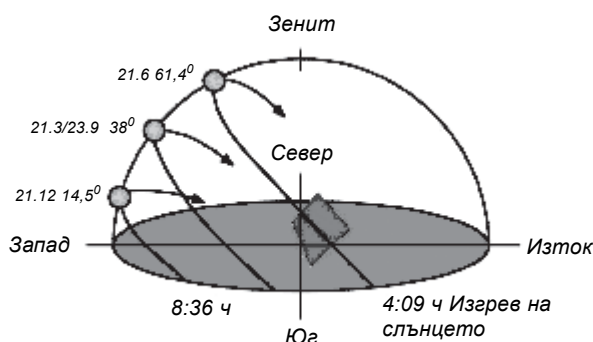
Специфичната за повърхността мощност на соларното лъчение се означава като интензитет на облъчване и се измерва във ватове на квадратен метър ( $W/m^2$ ). Ако се

сумират моментните стойности на интензитета на облъчване за определен период от време, се получава касаещата повърхността енергия на соларното лъчение. Тази величина се нарича инсоляция (облъчване), измерва се в киловатчаса на квадратен метър ( $kWh/m^2$ ) и обикновено се посочва като дневна, месечна или годишна сума.

Глобалният интензитет на лъчение (огряване) по хоризонтала и съответните суми на инсоляция позволяват сравняване на различни местоположения на инсталациите от метеорологична гледна точка. От тях се различават важните за оценка на слънчеви инсталации величини интензитет на лъчение (огряване) и инсоляция в колекторната и модулна равнина.

Височината на слънцето, респ. ъгълът на височината на слънцето е ъгълът, който вижда наблюдателят между центъра на слънцето и хоризонта. Стойностите на този ъгъл са между  $0^\circ$  и  $90^\circ$ , като  $90^\circ$  се достигат само на екватора. Най-високото положение за деня е по обяд, когато слънцето е разположено южно (за северното полукълбо).

Фиг. 6.14. показва орбитата на слънцето през годината за място в южна Долна Саксония ( $52^\circ$  северна ширина). Там ъглите на височината на слънцето по обяд са между приблизително  $15^\circ$  на 21 декември и около  $61^\circ$  на 21 юни.



Фиг. 6.14. Орбита на слънцето през годината за  $52^\circ$  северна ширина



Азимутният ъгъл на слънцето (слънчев азимут) е ъгълът между географската южна посока и вертикалната проекция на правата наблюдател - слънце върху хоризонтала. Слънчевият азимут описва следователно отклонението на положението на слънцето от южната посока и обикновено в посока на изток се отчита като отрицателно, а на запад като положително, така че азимутният ъгъл може да приема стойности между  $0^\circ$  и  $\pm 180^\circ$  (в литературата се използват и други начини на отчитане).

Приеманият интензитет на излъчване и сумата на инсолацията зависят от наклона и азимутната ориентация на приемащата повърхност.

Максимална инсолация се получава при слънчева инсталация, която постоянно се насочва към слънцето и във всеки момент се огрява вертикално от него. Автоматичното насочване обаче има някои недостатъци (висока цена, разход на енергия за задвижване, разходи за поддръжка) и не се оправдава от съответно високи енергийни добиви. Фиг. 6.15 показва годишната инсолация в зависимост от ъгъла на наклона и азимута на приемащата повърхност за местоположение Хановер, като процентните данни се отнасят за максимална годишна инсолация  $1.100 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{год.})$  (съотв. 100 %).



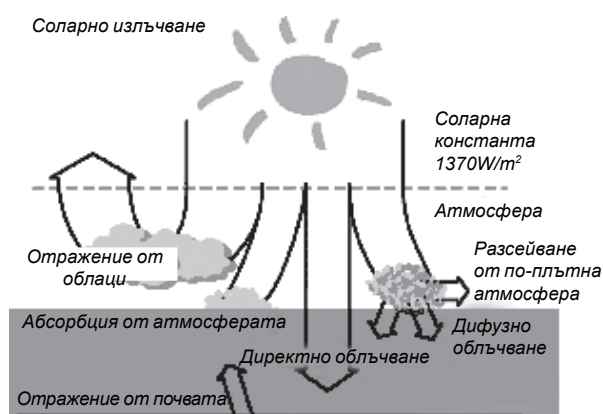
**Фиг. 6.15. Годишна инсолация в зависимост от ориентацията на приемащата повърхност**

За Хановер максимална годишна инсолация се получава при южно ориентирана приемаща повърхност с ъгъл на наклона  $35^\circ$ ; вертикална южна фасада приема с 30 %

по-малко слънчево облъчване. Всички повърхности с ориентация вътре в  $95\%$ -маркировка, са подходящи за инсталиране на слънчева инсталация, защото поради отклонението от оптималната ориентация минималният добив ще бъде 5 %. Този диапазон обхваща всички повърхности с ориентировка между югоизток ( $-45^\circ$ ) и югозапад ( $+45^\circ$ ) и наклон между  $20^\circ$  и  $50^\circ$ . Наклони, по-малки от  $20^\circ$  могат да бъдат проблематични, тъй като почистващото действие на дъжда вече няма да е достатъчно и засенчващият сняг няма да може да се плъзга, или ще се плъзга трудно от слънчевите елементи. Използването на вертикални фасадни повърхности въпреки ограничената инсолация може да бъде целесъобразно, тъй като слънчевите елементи ще заместят скъпо струващи традиционни строителни елементи за външно оформление на сградата (напр. естествен камък, благородна стомана, специално стъкло и др.) и спестените строителни разходи ще намалят инвестициите за слънчевата инсталация.

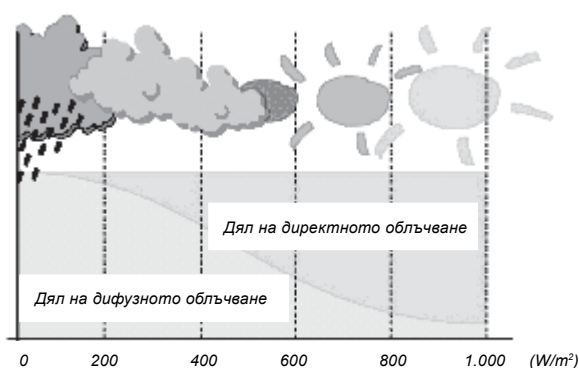
На външния ръб на земната атмосфера слънчевото лъчение (върху разположена вертикално на посоката на лъчите повърхност) е със среден интензитет  $1.370 \text{ W}/\text{m}^2$ , тази стойност се нарича слънчева константа. По пътя към земната повърхност соларното лъчение се разсейва от съставните части на атмосферата и отчасти се поглъща от тях, освен това част от него се отразява от облаци. Поради тези процеси мощностната плътност на соларното излъчване се понижава, а освен това земната атмосфера оказва влияние върху спектъра на лъчението.

Соларното лъчение, достигащо земната повърхност от посока диска на слънцето, се нарича директно слънчево лъчение, респ. директно лъчение и се възприема като слънчева светлина. Когато директното лъчение срещне препятствие, се получава сянка. Наличната в зоната на сянката светлина се дължи на дифузните лъчи, които идват от всички посоки на хемисферата и се възприемат като небесна светлина. Глобалното лъчение върху хоризонтала представлява сума от директното и



**Фиг. 6.16. Влияние на атмосферата върху слънчевото облъчване на сушата**

дифузното лъчение; наклонените повърхности улавят допълнително и отразените от почвата слънчеви лъчи. В ясни, безоблачни дни делът на директното лъчение в глобалното лъчение е голям, докато при мъглива атмосфера (със сравнително малка хоризонтална видимост) и покрито с облаци небе се увеличава дифузният дял (вж. фиг. 6.17).



**Фиг. 6.17. Дял на директното и дифузното лъчение**

За активното използване на слънчевата енергия са необходими възможно най-точни данни за интензитета на излъчване и сумите на инсолацията на глобалното и дифузно, респ. директно излъчване. Тези данни могат да се набавят само чрез измервания. Тъй като условията на излъчване през отделните години са различни, по отношение на сумите на инсолацията са необходими няколкогодишни средни стойности (напр. за

10 години). В идеалния случай подобни детайлни, измерени в близост до бъдещото местоположение на инсталацията данни за излъчването трябва да бъдат на разположение, за да се планира правилно една слънчева инсталация и да могат да се предвидят нейните потенциални енергийни добиви.

По принцип засенчванията на слънчевите инсталации предизвикват загуби на инсолация и добиви и затова по възможност трябва да бъдат избягвани. При интегрирани в сградата слънчеви инсталации има обаче и типични ситуации на засенчване, които могат да бъдат предизвикани напр. от части на други сгради като еркери или крила, комини, антени, димни шахти, както и съседни сгради. Често пъти се подценява влиянието на дървета и друга околна вегетация, и най-вече не се предвижда в достатъчна степен растежът им. Подобни засенчвания предизвикват намалени и нехомогенни сили на инсолацията върху (пространствено обширни) слънчеви инсталации и водят до загуба на енергия. Затова още във фазата на планирането трябва да се избере местоположение на слънчевата инсталация по възможност без засенчване.

### 6.2.3.1. Концепции на инсталации

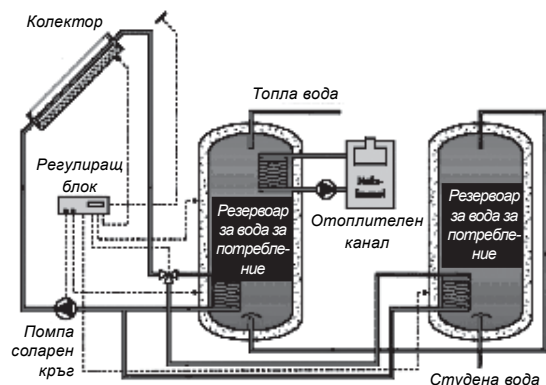
Следват няколко схеми на слънчеви инсталации за добиване на общ поглед върху възможните концепции.

#### Инсталация с два резервоара

Фиг. 6.18 показва два резервоара, свързани последователно.

Тази система се прилага тогава, когато необходимият акумулиращ обем не може да се реализира чрез монтиране на един единствен резервоар или когато се разширява вече съществуваща слънчева инсталация.

При тази концепция стремежът е, по-топлият резервоар 1 (преференциален резервоар) да се зарежда винаги тогава, когато лъчението е достатъчно силно.

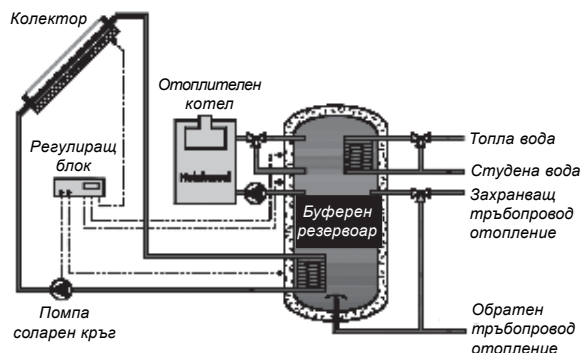


**Фиг. 6.18. Схема на свързване на инсталация с два резервоара**

При ограничено лъчение се зарежда студеният резервоар 2; при това при увеличаващо се лъчение температурата на колектора не може да се повиши до нивото на преференциалния резервоар. Тук освен температурните сонди е необходима и допълнителна сонда за лъчение, която да дава информация за актуалната интензивност на лъчението. При увеличаваща се интензивност сондата превключва на резервоар 1.

#### Инсталация с буферен резервоар

Конструкцията и функционирането на този тип инсталация отговаря на тези на стандартните инсталации. В буферния резервоар се намира водата за отопление, чиято желана температура се поддържа чрез слънчева инсталация или допълнително подгръване. Загубите на топлина са намалени благодарение на принципа на работа с един резервоар и к.п.д. на слънчевата инсталация е много висок.



**Фиг. 6.19. Схема на свързване на инсталация с буферен резервоар**

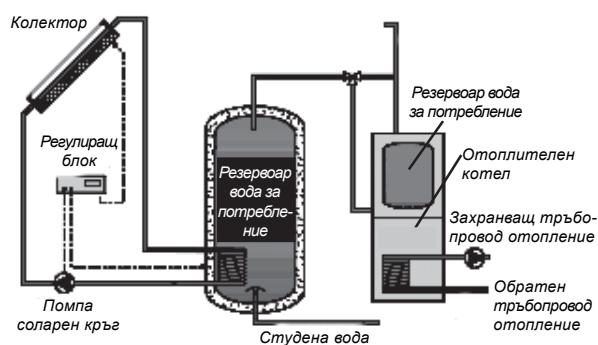
Важно предимство представлява безопасността по отношение на легионелите. Поради проточния принцип на загряване при този тип инсталации е необходимо особено внимателно да се изчислява топлообменникът. Мощността му трябва да се съгласува с върховото потребление на топла вода. Това означава, че този върхов товар трябва предварително точно да се определи. Отоплителният кръг се захранва директно през буферния резервоар. Допълнителното подгръване изисква малко по-голям разход за регулирането, тъй като един трипътен клапан трябва да се командва така, че в зависимост от нуждата от топлина водата за потребление, респ. за отопление на помещенията да зарежда горния, респ. средния участък на буферния резервоар. Соларното регулиране функционира както при стандартна инсталация.

#### Включване в стари инсталации

Значителен пазарен сегмент за слънчеви инсталации има в сферата на модернизирани на по-стари едно- и двуфамилни къщи. В тези къщи има отоплителни котли с приемлив годишен к.п.д., но на много места е необходима модернизация, тъй като съгласно Наредбата за пестене на енергия (EnEV) до края на 2006 год. трябва да се подменят два милиона остарели отоплителни котли. В тези случаи една допълнителна слънчева инсталация може значително да подобри положението. По принцип всяко присъединяване на слънчева инсталация към налична стара инсталация е един уникат. Планирането според нуждите и изпълнението изискват във всеки отделен случай детайлно заснемане на частите на инсталацията и прецизно установяване на желанията на клиента.

Обикновено при хидравличното свързване на допълнително отопление няма проблеми. Допълнителното отопление може да се осъществява чрез трипътен клапан или регулируема зареждаща помпа.

Специално внимание обаче е необходимо при управлението; за него много рядко има стандартни решения. На пазара има редица



Фиг. 6.20. Свързване към стари инсталации

слънчеви регулиращи уреди за допълнително отопление, но в отделния случай то трябва да е съвместимо с управлението на отоплителната инсталация и не бива напр. да изключва предпазните устройства на котела.

В този пример се изхожда от това, че помощният резервоар на старата инсталация е заменен с двувалентен соларен резервоар. Използвани са наличната зареждаща помпа и управлението.

Би трябвало да се използва и същата температурна сонда, тъй като тя пасва към съществуващото управление. При необходимост трябва да се удължи кабелът на сондата или да се набави нова сонда от производителя на котела. По същия начин трябва да се действа, ако вместо отделната зареждаща помпа в нагревателния кръг се включи трипътен клапан.

По-сложно е когато слънчевият регулатор трябва да поеме функцията за допълнително отопление. За тази цел слънчевият регулатор трябва да комуникира с регулатора на отоплението, за да се активира преференциалното включване на топлата вода. Само по този начин се избягва охлаждането на захранващия тръбопровод на отоплението по време на допълнителното подгряване, респ. безсмисленото удължаване на фазата на допълнителното подгряване. Използването на интегрирани или прибавени резервоари към отоплителната инсталация е целесъобразно само в редки случаи.

По правило, това приложение е нежелан вариант на свързване по следните причини:

- Интегрираният в котела резервоар има значително по-големи загуби на топлина в сравнение със слънчевия резервоар и не дава възможност за температурно разслояване.

- Евентуални престои в течение на седмици или месеци предизвикват хигиенни проблеми.

- Допълнителните елементи и време за монтаж увеличават разходите за слънчевата инсталация без да повишават добива (икономическа ефективност!).

В заключение още веднъж изрично препоръчваме да не се прибегва до прибързано използване на електрически нагреватели. Методът *“затвори очи и карай”* представлява на пръв поглед лесно решение на проблема с допълнителното подгряване, има обаче фатални последици за икономическата ефективност на инсталацията и опазването на климата.

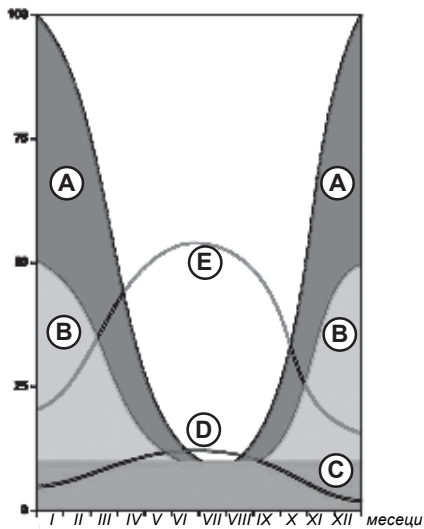
#### Подпомагане на отоплението

Около една трета от използваната във Федералната република енергия отива за отопление на сгради. Потреблението на енергия за отопление на помещенията в повечето сгради е по-голямо от това за производство на топла вода. Следователно, сферата на отоплението на сгради предлага принципно голям потенциал за приложение на слънчеви инсталации.

Необходимо условие за соларно подпомагане на отоплението е строителната топлоизолация съгласно стандарта за ниско енергийна къща. Използването на слънчева енергия за отопление на сгради се усложнява от сезонно противоположното слънчево излъчване и нуждата от енергия за отопление, докато необходимостта от топла вода е почти константна през цялата година.

Съгласно фиг. 6.21 слънчевите инсталации за подпомагане на отоплението трябва да имат сравнително голяма колекторна повърхност, за да доставят по-голям покриващ дял.

Енергийна потребност, респ. енергийна печалба



- A - Необходимо количество топлина за помещенията на една къща (година на строеж след 1984)  
 B - Необходимо количество топлина за помещенията на ниско енергийна къща  
 C - Необходимо количество топла вода  
 D - Добив на слънчева енергия при повърхност на колектора 6 m<sup>2</sup>  
 E - Добив на слънчева енергия при повърхност на колектора 25 m<sup>2</sup>

**Фиг. 6.21. Топлинни нужди и енергиен добив на слънчеви инсталации за топла вода и отопление**

Соларно произведената топлина по принцип може да покрие цялото количество енергия за отопление на една ниско енергийна къща, ако произведената през лятото енергия се предостави за ползване през зимата с помощта на дълготраен акумулиращ резервоар. Подобни концепции за сезонно акумулиране са подходящи само за селища с повече от 100 жилищни единици и засега се осъществяват напр. с големи по обем вкопани в земята резервоари. Реализираните в Германия пилотни инсталации могат да покрият около 50 % от общите топлинни нужди (отопление и топла вода) на едно селище. За подпомагане на отоплението в едно- и дву-фамилни сгради се прилагат само слънчеви инсталации с краткотрайни резервоари.

При инсталации за подпомагане на отоплението соларна топлина се акумулира директно в отопляващия флуид, за която цел се използват буферни резервоари. Инсталациите се изпълняват или като

инсталации с един комбиниран резервоар, или като инсталации с два резервоара – буферен и за топла вода.

За правилно функциониране на концепцията с комбиниран резервоар е необходимо при зареждане и изпразване на резервоара да се поддържа температурното разслояване. Тази техника изисква между другото в първичния и вторичния кръг да преобладават подходящи обемни потоци и в течение на деня да се избягва рецикулация на съдържанието на резервоара. Студените долни слоеве на резервоара трябва да се подават на отвеждащия тръбопровод на колектора, за да се избегнат загуби на к.п.д.

За да се използват оптимално възможностите на зареждащата на слоеве техника, е целесъобразно използването на концепцията *Low-flow*. При това преминаването през слънчевия кръг се намалява на 10 – 15 л/(м<sup>2</sup>·h); при традиционните системи преминаването е от около 30 л/(м<sup>2</sup>·h) до 50 л/(м<sup>2</sup>·h). Поради поголемия температурен диапазон слънчеви инсталации с *Low-flow*-преминаване постигат при еднократно преминаване на топлоносителя през колектора значително по-високи температури в захранващия тръбопровод, които при силно греене достигат и дори превишават зададената температура на топлата вода.

### 6.2.3.2. Специални приложения

#### Компактни инсталации за загряване на вода

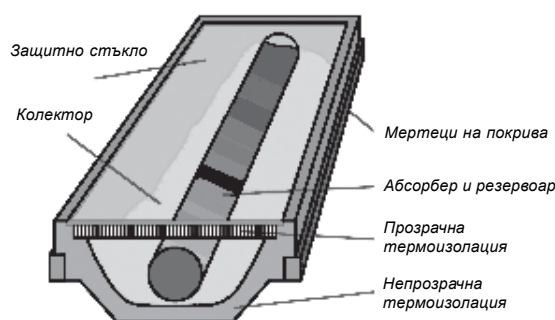
Наред със слънчевите технически инсталации, които бяха разгледани в предходните раздели, съществуват и т.н. компактни инсталации, които се монтират като един блок на покрива. Те служат за загряване на вода и се използват най-често в южни страни. Двете основни конструктивни форми са:

- Интегрирани колекторно-акумулаторни инсталации (IKS-инсталации), или кратко акумулиращи колектори
- Термосифонни инсталации



### Акумулиращи колектори

IKS-инсталациите представляват най-простата форма термични слънчеви инсталации. Наричат се също акумулиращи колектори, защото колекторът и резервоарът представляват един блок, т.е. топлата вода се подгръва и акумулира директно в колектора. Тъй като водата остава в колектора и през нощта и при лошо време, изискванията към челната топлоизолация са големи. Тя може да се изпълни напр. като прозрачна топлинна изолация (TWD) от поликарбонатен материал тип "пчелна пита". Допълнителното подгръване може да се осъществява с електрически прътовиден или допълнително включен проточен нагревател.



Фиг. 6.22. Разрез на акумулиращ колектор

#### Предимства

- лесен монтаж на инсталацията, няма тръбен циркуляционен кръг между колектора и резервоара
- ниски разходи за инсталацията и монтажа
- минимална поддръжка

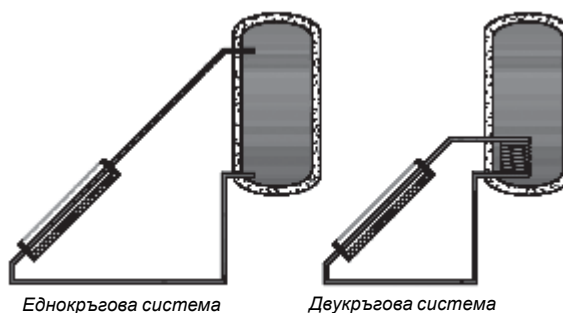
#### Недостатъци

- трудно интегриране с домакинската техника, в повечето случаи значителни дължини на тръбите за свързване със студената вода, отоплителната инсталация и разпределителната мрежа за топла вода в мазето (по-благоприятно при отоплителни централи на покрива)
- повишени загуби на топлина и по-малка мощност в сравнение с традиционните слънчеви инсталации

- няма защита срещу замръзване (връзки!)
- възможност за прегряване и отлагане на варовик

### Термосифонни инсталации

Тук циркуляцията се извършва без помощна енергия между колектора и резервоара по т.н. термосифонен принцип (гравитационен принцип).



Фиг. 6.23. Системи с гравитационна циркулация

Топлопреносната течност се затопля в колектора. Топлата течност в колектора е по-лека от студената течност в резервоара и поради тези разлики в плътността започва циркулация под действието на силата на тежестта. В резервоара загрялата течност отдава топлината си на водата за потребление и пада отново до най-ниската точка в колекторния кръг. Поради това при термосифонната инсталация резервоарът трябва да бъде над колектора.

При еднокръговите инсталации водата за потребление циркулира директно в колекторния кръг. При двукръгови инсталации топлоносителят в колекторния кръг и водата за потребление са отделени от топлопредавател. Термосифонни инсталации се предлагат като предварително монтирани върху рама блокове или се интегрират в покрива.

Допълнителното подгръване може да се осъществява чрез електрически прътовиден нагревател, респ. топлоносител или допълнително включен проточен нагревател.

### Предимства

- отпадат помпата и регулирането на циркулацията, както и необходимата за тях помощна енергия
- по-лесен монтаж на инсталацията
- по-малки разходи за инсталацията и монтажа
- минимална поддръжка

### Недостатъци

- трудно интегриране с домакинската техника, в повечето случаи значителни дължини на тръбите за свързване със студената вода, отоплителната инсталация и разпределителната мрежа за топла вода в мазето (по-благоприятно при отоплителни централи на покрива)
- няма защита от замръзване при външно разположен резервоар за вода за потребление
- проблеми с размесването при хоризонтално разположени резервоари

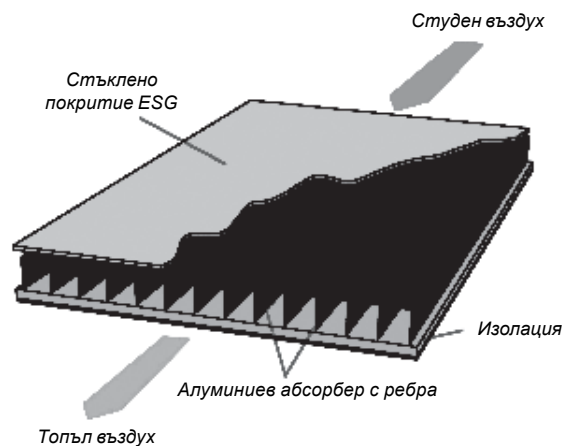
### Инсталации с въздушни колектори

В Германия рядко се използват въздушно охлаждащи плоски колектори (въздушни колектори), тъй като отоплителни инсталации с топъл въздух се прилагат ограничено в жилищни сгради. В по-големи сгради (училища, административни сгради, болници) отдавна се е наложило механичното отвеждане и подаване на въздух с вентилационни уредби. За слънчеви инсталации с въздушни колектори това е интересна област на приложение от една страна поради наличните вентилационни уредби и от друга – поради необходимостта от отопление главно през деня.

Има различни конструктивни форми въздушни колектори: За подобряване на топлинните преходи между абсорбера и въздушния поток се използват ребрени абсорбери, пасовъчни системи, както и порьозни структури на абсорбера.

### Предимства

- няма проблеми с корозия и замръзване
- загубите от неуплътненост не са проблематични



Фиг. 6.24. Принцип на въздушен колектор

### Недостатъци

- сравнително голям разход на енергия за придвижване на въздушния поток
- трудно регулиране и съхранение на топлината

## 6.2.4. Комбинация на слънчеви термични инсталации с други възобновяеми енергии

Слънчевите термични инсталации са целесъобразно допълнение към изгарящи дърва инсталации.

Особено през летните месеци с тях се разтоварват изгарящите пелети печки и отоплителни котли.

Една слънчева топлинна инсталация спестява според параметрите си гориво. Една слънчева инсталация за подпомагане на отоплението на помещения допринася за опазване на климата и ресурсите дори и ако е комбинирана с отопление с мазут или газ, при което финансовите икономии зависят от спестените разходи за гориво, както и от допълнителните разходи за инсталиране, експлоатация и поддръжка на слънчевата инсталация.

Комбинирането на слънчева инсталация с отопление на дърва води също до пестене на гориво (дърва), като това не причинява

директно значителен положителен екологичен ефект както при отоплението с мазут и газ. Резултатът от него обаче е, че възобновяващата се, но ограничена в своя потенциал дървесина, ще бъде на разположение на повече потребители, отколкото при отопление без слънчева инсталация.

Предимството на комбинирането на слънчева инсталация с отопление на дърва се състои в това, че по време на летните месеци отоплението с дърва може да се изключи и да се избегне работата при слабо натоварване и честото пускане и спиране. От друга страна по този начин се намалява натоварването на отоплението с дърва, което би могло да повлияе неблагоприятно изчислението на икономическата ефективност.

Отоплителните инсталации обикновено имат отоплителен циркуляционен кръг, който захранва радиаторите, и циркуляционен кръг за питейна вода, който затопля и подава питейна вода. Ако се включи слънчева инсталация, ще е необходим трети циркуляционен кръг, соларен кръг.

Междувременно различни производители предлагат различни концепции за комбиниране на отоплителни котли, или камини с водна риза, изгарящи пелети, с топлинна слънчева инсталация чрез



**Фиг. 6.25. Пример за комбиниране на котел на пелети и слънчева инсталация**  
(Източник: Wagner & Co Solartechnik GmbH)

топлинен резервоар. Запълненият с незамръзващ топлопrenaсящ флуид соларен кръг трябва да бъде отделен с топлообменник от циркуляционният кръг за отопление или питейна вода, което може да се реализира с различни конфигурации на инсталацията. Прави се освен това разлика между слънчеви инсталации за подгръване на питейна вода или за подпомагане на отоплението на помещения.

### 6.3. Преценка на икономическата ефективност

При преценката на икономическата ефективност един с друг се сравняват различни инвестиционни модели, за да се установи кой вариант е най-доходоносен. При сегашните цени на фосилните и ядрени енергоносители това би могла да бъде слънчева инсталация само при благоприятни условия. При това традиционните начини на оценка на икономическата ефективност имат някои значителни слаби места, които трябва да се калкулират по отношение на инсталациите с възобновяеми енергии:

- Не се вземат пред вид вредите за околната среда и здравето при осигуряването на фосилни енергоизточници.
- Запасите от нефт, газ, въглища и уран постоянно намаляват – при същевременно увеличаващо се енергопотребление: развитието на цените не може да се предвиди, но е нарастващо.
- Погрешно смятаният за евтин достъп до фосилни енергийни резерви (конфликти, войни) се заплаща от всички граждани.
- Рисковете на атомната енергия (междинно и крайно съхранение) въобще не се калкулират.
- Фосилното и атомното производство на енергия се субсидират с пари от данъци в размер на милиарди.

По-долу ще бъдат разгледани разходите. Специфичните разходи за киловатчас соларно произведена топлина се изчисляват за разходите на слънчевата система като се вземат пред вид добивите от енергия и се означават като цена на слънчевата топлина. За да бъде възможно сравняване на разходите, те се изчисляват по анюитетния метод. Анюитетът е периодично постоянна сума, състояща се от дела на лихвите и погасяващите суми за изплащане на вложения капитал.

Изплащането се подразделя на две категории според требването им по време: еднократно и текущо изплащане.

За разглеждания период от време съществена е продължителността на използване на краткотрайните и/или капиталоемките компоненти на инвестицията, като за останалите компоненти трябва да се изчисли остатъчната стойност на основните фондове. При слънчевите инсталации междуременно е обичайно инсталацията да се разглежда цялостно и след края на периода на преценка да се смята за амортизирана като не се включва в сметката остатъчна стойност. Тук трябва да се имат пред вид следните разходи:

- свързани с капитала: лихви, погасяване и разходи за поддръжка
- свързани с потреблението: за помощна енергия
- свързани с производството: при слънчева инсталация напр. разходи за застраховка.

#### **Свързани с капитала разходи**

При слънчевите инсталации свързаните с капитала разходи са основни. Те се състоят от инвестираната сума, евентуално намалена с обществените средства за насърчаване и отчасти от плащания за ремонти.

При изчисляване на разходите за ремонт и поддръжка съответният коефициент трябва да бъде по-нисък отколкото при традиционните топлопроизводителни инсталации, тъй като износването на слънчевите инсталации е сравнително по-ограничено. Тук важи правилото, колкото по-

голяма е инсталацията, толкова по-малък е коефициентът. Решаващи при това са видът и обемът на дейностите по поддръжката, предимно визуални проверки, при които значителна част представлява пристигането и заминаването на обслужващия персонал. Освен това делът на инвестиционните разходи за подвижни части като помпи, клапани и разширителни съдове нараства значително с увеличаване размера на инсталацията.

#### **Свързани с потреблението разходи**

При слънчевите инсталации тези разходи са ограничени до разходите за помощна енергия, преди всичко разходи за електроенергия за управлението и помпите. Общо взето тук се предвиждат разходи в размер на 2 % до 5 % от слънчевия добив.

#### **Свързани с производството разходи**

За разлика от конвенционалните инсталации за производство на енергия, за слънчевите инсталации не е необходим обслужващ персонал. Вместо тях се калкулират разходите за застраховка на слънчевата инсталация. В зависимост от вида на застраховката разходите са различни (застраховка на сградата или слънчева застраховка). При разширение на застраховката за сградата те се ориентират спрямо големината на сградата, а при слънчевата застраховка – спрямо инвестицията за слънчевата инсталация като досега слънчеви инсталации в повечето случаи не са застраховани.

## **6.4. Описание на типични случаи**

Примери за приложение на слънчеви термични инсталации с селското стопанство в регион Хановер или не бяха открити, не бяха известни, или бяха без значение. Вместо тях ще бъдат представени два примера от град Хановер.

#### **Solarcity Кронсберг**

В рамките на ЕХРО-проект „Екологична оптимизация Кронсберг“ главният областен

град Хановер с проекта "Енергийна оптимизация" си постави за цел да намали с 60 % емисиите на CO<sub>2</sub>. За подкрепа на тази цел иновативни строителни предприемачи бяха насърчени да реализират съответни пилотни проекти. През 1996 година град Хановер от своя страна получи средства за насърчаване от Европейската Комисия в рамките на програмата THERMIE. От избраните и субсидирани проекти тук ще представим проекта „Solarcity“.

Жилищната инсталация Solarcity е пилотен и демонстрационен проект на Градско дружество за строеж на жилища GBH, енергоснабдително предприятие Avason и на Долносаксонска Енергийна Агенция. Със Solarcity нагледно се демонстрира, че строежът на социални жилища за даване под наем са подходящи за соларно захранване.

Кръгло 1.350 m<sup>2</sup> слънчеви колектори, които същевременно заместват традиционните покривни покрития, са интегрирани в насочените на юг покривни повърхности и захранват с топлина общо 104 жилища. С помощта на много добре изолиран дългосрочен акумулиращ топлина резервоар с обем 2 750 m<sup>3</sup> слънчевата енергия може да се използва от пролетта до средата на декември, най-вече свръх предлагането на лятно слънчево излъчване. По този начин се покриват около 40 процента от общото потребление на енергия за отопление и значително се намалява потреблението на фосилни горива. Останалото необходимо количество се осигурява от разположената в близост отоплителна централа по наличната топлопреносна мрежа.

Споменатият топлинен резервоар се състои от нов вид дифузионно плътен бетон с повишена носеща способност, обединяващ носеща с уплътняваща функция, което прави излишна вътрешната облицовка от благородна стомана. Оптимизираната цилиндрична форма на резервоара и устойчивата на влага изолация от пеностъклен гранулат значително намаляват загубите на топлина. Резервоарът е разположен върху площ от 530 m<sup>2</sup>, вкопан е в земята на дълбочина шест метра и се подава като плоско възвишение на 4,50 м

над терена. Докато от другите страни резервоарът е засипан с пръст и интегриран в оформения ландшафт, към квартала е обърната бетонна стена, оформена като стена за катерене и включена в площадката за игри на съседната детска градина.

Разходите възлизат общо на 3,3 милиона евро, от които 52 % (1,7 мил. •) се падат на слънчевите колектори и 48 % (1,6 мил. •) на акумулиращия резервоар. Наред с парите от специалната програма EU-THERMIE на град Хановер бяха получени субсидии от Федералното министерство на икономиката, технологиите и транспорта, Агенция Кронсберг за околна среда и комуникация, Общински съюз Гросраум Хановер и Бетон маркетинг. Кръгло 65 процента от общата сума бяха събрани чрез средства за насърчаване.

#### Къща Карл Лемерман

Къща Карл Лемерман, построена през 1958 год., е жилищна сграда за бездомни мъже. През 2002 година сградата беше мащабно модернизирана в енергийно отношение, включително чрез инсталиране на слънчева топлинна инсталация, за чийто монтаж решаващи бяха два принципа. От една страна намаляването на производствените разходи и от друга финансовото участие на съюза на инвеститорите в рамките на педагогическата поръчка „Слънцето като носител на надежда“.

Сградата има среден до висок изолационен стандарт и слънчевата инсталация служи основно за подгряване на вода за потребление. При все това разходът на топлинна енергия беше намален общо с повече от 5 процента. За слънчевата инсталация с 40 m<sup>2</sup> колекторна площ бяха инвестирани общо 33.000 евро, субсидирани 50 % от провинция Долна Саксония.

Едновременно с изграждането на топлинната слънчева инсталация са монтирани фотоволтаична инсталация (4,7 kWp) и инсталация за използване на дъждовна вода.

Други примери за големи термични слънчеви инсталации са публикувани на [www.solarge.org](http://www.solarge.org)



## 6.5. Библиография

Спасов, К., М. Балабанов, А. Станков.  
Проектиране и конструиране на топлинни  
слънчеви инсталации, Техника, София,  
1988.

Отопление, топло- и газоснабдяване.  
Справочник, част II, Техкина, 2000

Дечев, Д. Слънчеви колектори и системи,  
Техника, 2005.

C.A.R.M.E.N. e.V.

„Holzpellets und Pelletheisanlagen – Technik,  
Emissionen, Hersteller, Lieferanten“ (Пелети  
от дървесина и отоплителни инсталации  
на пелети – техника, емисии,  
производители, доставчици), 2002

EurObserv'ER

Solar thermal barometer (Соларен термичен  
барометър), 2004

[http://www.erec-renewables.org/documents/  
RES-H/EREC\\_RES-H.pdf](http://www.erec-renewables.org/documents/RES-H/EREC_RES-H.pdf)

[http://www.oekl.at/publikationen/merkblaetter/  
verzeichnis/74](http://www.oekl.at/publikationen/merkblaetter/verzeichnis/74)

[http://www.solarserver.de/solarmagazin/  
solarwaerme.html](http://www.solarserver.de/solarmagazin/solarwaerme.html)

Karl-Heinz Remmers

„Große Solaranlagen – Einstieg in Planung und  
Praxis“ (Големи слънчеви инсталации –  
Въведение в проектирането и  
практиката), 1999

Landeshauptstadt Hannover

„Handbuch Hannover Kronsberg – Planung und  
Realisierung“ (Наръчник Хановер Кронсберг  
– Планиране и реализация), 2004

ROTO FRANK AG

„Seminarunterlagen Solarsysteme“  
(Семинарни материали Слънчеви  
системи), 2001

Target GmbH

„SHK-Fachkraft Solarthermie – Grundlagen,  
Technik, Vermarktung“ (SHK-специалист  
Слънчеви термични инсталации –  
Принципи, техника, продажба), 1999

pro aere