

ГЛАВА 12: ТЕРМОПОМПТЕ КАТО МИНИ-МАЩАБНИ ВЪЗОБНОВЯЕМИ ИЗТОЧНИЦИ НА ЕНЕРГИЯ

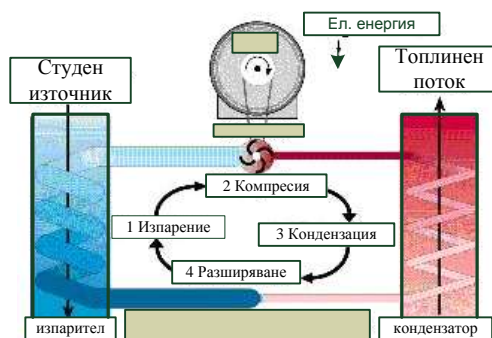
12.1. Цели:

След усвояване на преподавания материал обучаемите трябва да:

- *разбират принципа на работа на различни варианти на термопомпи;*
- *обяснят теоретичните основи на различни конструкции термопомпи;*
- *идентифицират и характеризират условията за експлоатация на термопомпи;*
- *анализират приложенията, достъпността, ефективността и разходите, свързани с топлинни помпени системи.*

12.2. Термопомпа - принцип на действие

Типичните термопомпи (ТП) използват наземни водни и въздушни геотермални енергии като източници на енергия като пренасят топлина към горещи източници. В този контекст, топлинната енергия на всички студени източници, в които са включени водата и въздуха, също се приемат като геотермална енергия. Тя е достъпна при всички температури и може да варира от едно място на друго. По този начин се влияе на изпълнението на ТП.



Фиг. 12.1. Топлинни явления, свързани с експлоатацията на ТП.

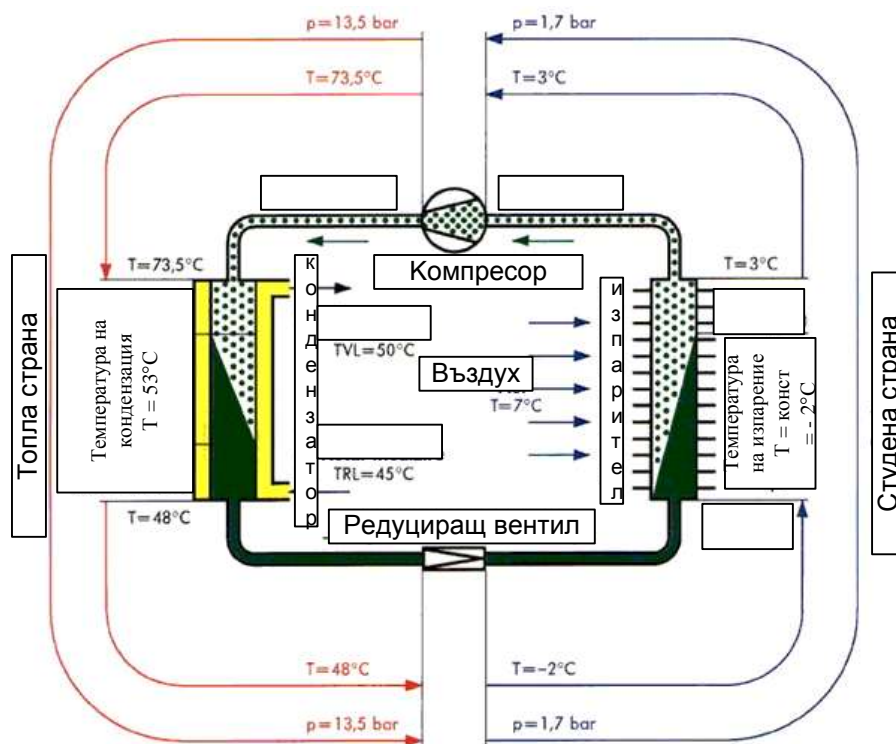
ТП е известна отдавна. Нейното създаване може да се потърси в началото на ранния 20-ти век, заедно с това на хладилника. Няколко физични явления и закона са в основата на действието на ТП:

Вторият закон на термодинамиката (Закон на Клаузиус): „Никой процес не е възможен, ако се прехвърля топлина от тяло с по-ниска температура към тяло с по-висока температура“.

През 19 век физикът Дж. Ват открива, че всеки компресиран газ може да отделя топлина, както и обратното, може да абсорбира топлина, ако се разширява.

От термодинамична гледна точка, явленията в основата на ТП са подобни. За да се разберат по-добре термодинамичните процеси, те се разглеждат като свързани заедно, за да задействат изпарително-компресорната термопомпа (ИКТП) (фиг. 12.1). По време на експлоатацията на ИКТП са налице:

- среда с ниска температура (например температурата на околната среда – въздух, вода, земя), наричана *студен източник* (който ще достигне *изпарителя*);
- среда с по-ниска температура от температурата на студения източник, наричана *охладител* (който според гореспоменатият закон може да абсорбира топлина от студения източник);
- среда, която трябва да абсорбира топлината, освободена от охладителя (която среда се намира в кондензатора), наричана *топлинна мивка* (топлинен преливник);

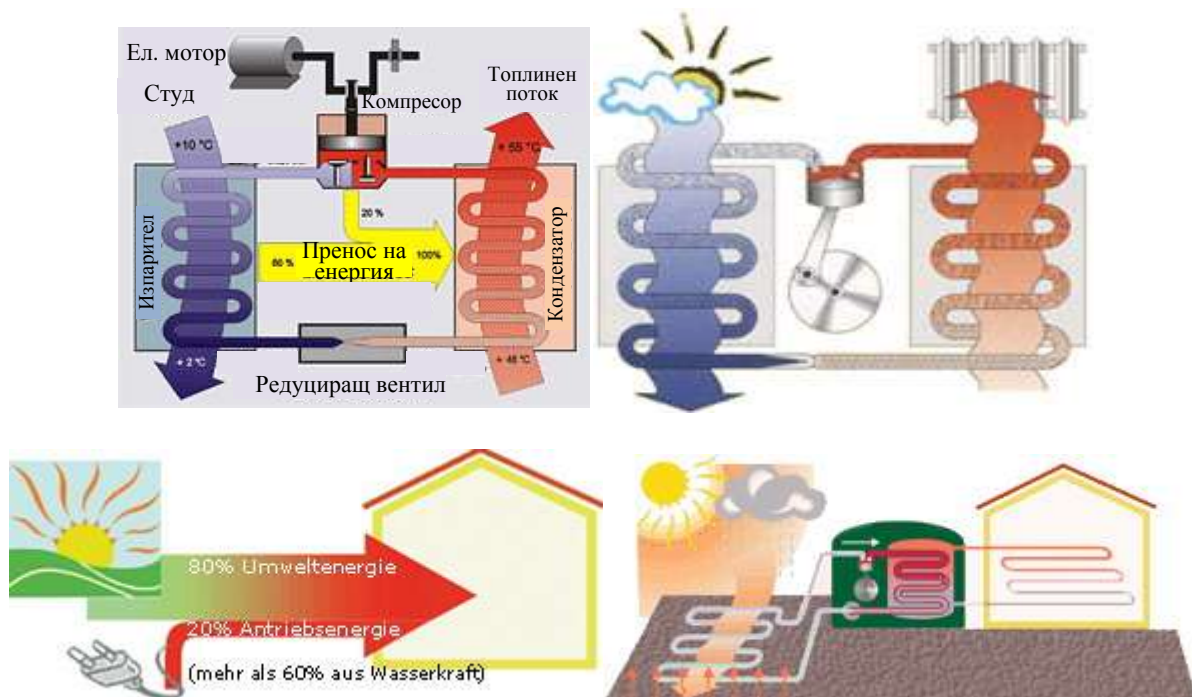


Фиг. 12.2. Схема на функциониране на ТП
(Източник: Ошнер Ваермепумпе)

Както е показано на фигура 12.2. освен, че има много ниска точка на кипене (около -2°C), охладителят има още свойството да задържа енергия, като преминава от течно в газообразно състояние (бърз процес на топлообмен) и обратно в основното си течно състояние. Моментът, в който охладителя се превръща в газ, като абсорбира топлината от студения източник, той е изпомпан от компресора (само вещества в газообразно състояние може да преминат през компресионните процеси – течностите са некомпесируеми). По време на компресионния процес температурата на охладителя се покачва с няколко десетки градуса, като по този начин достига по-висока температура от тази на топлинната мивка. Това е достатъчно, за да се осъществи процесът на обмяна на топлина/абсорбация. Щом охладителят обмени топлината си с топлинната мивка той постепенно се връща към началното си състояние на течност, преминава през клапа на разширяване и намалява налягането, което е създадено в компресора. Цикълът се повтаря и термопомпата *придвижва* топлина от студения източник към топлинната мивка – с активното действие на охладителя и компресора.

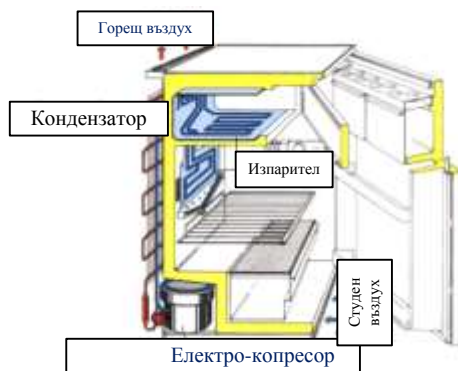
12.3. Термо-въздушна помпа. Принцип на действие.

Принципни схеми на термо-въздушни помпи са показани на фиг.12.3.

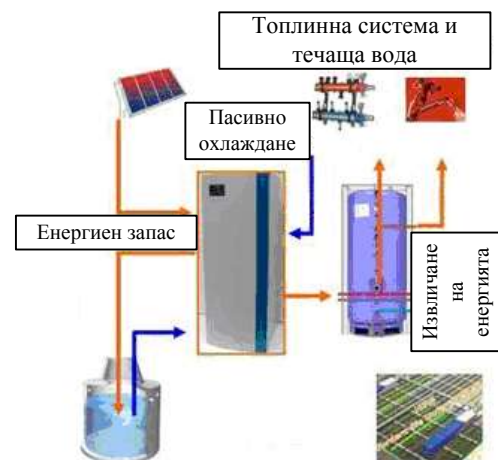


Фиг. 12.3. Принцип на действие на термо-въздушна помпа
(Източник: Ошнер Ваермепумпе)

Домашният хладилник, е в основата си ИКТП, който функционира обратно на токущо представения цикъл: помпата охлажда определено място и нагрява въздуха във външната околна среда (фиг. 12.4).



Фиг. 12.4. Диаграма на функциониране на обрвна термопомпа (хладилник)



Фиг. 12.5. Слънчева термопомпа
(Източник: Око Енерджи Системс)

В ИКТП охладителят е много важен. В съответствие с директиви на ЕС фреонът е заменен от други щадящи околната среда охладители като R407C, R134a и други подобни. В някои определени случаи, може да се използва втечен газ (например пропан или въглероден диоксид). Те се считат за екологични, тъй като могат да бъдат намерени в основно състояние във въздуха.

Класификация на ТП според студения източник и охладителя:

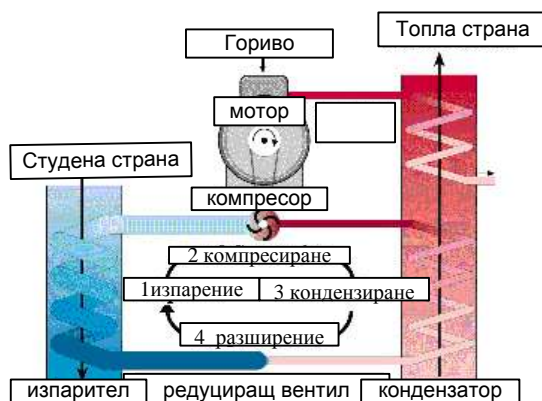
- земно-въздушна ТП (студен източник – земя, охладител – вода). Тук се отнасят и директно изпарителните ТП;
- водна-водна ТП (студен източник – водно тяло, охладител – вода);

- въздушно-водна ТП (студен източник – въздух, охладител – вода).

В интернет са представени разнообразни източници на земно-въздушни, водно-въздушни или въздушни-въздушни ТП. От друга страна, тяхното използване е ограничено до редки случаи на топлинни системи, поради ниската ефективност на въздуха като охладител (климатикът, например, е всъщност въздушно-въздушна ТП).

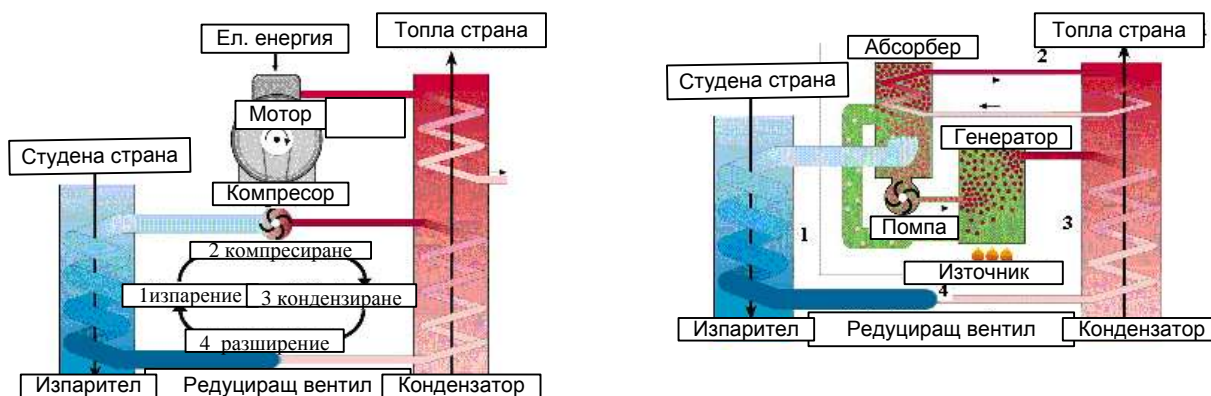
Рязката еволюция на технологиите в тази област може да се представи и чрез хибридната система на ТП, позната още като слънчева ТП (фиг. 12.5).

ТП, използвани в мини-машабни приложения за възобновяеми енергийни източници



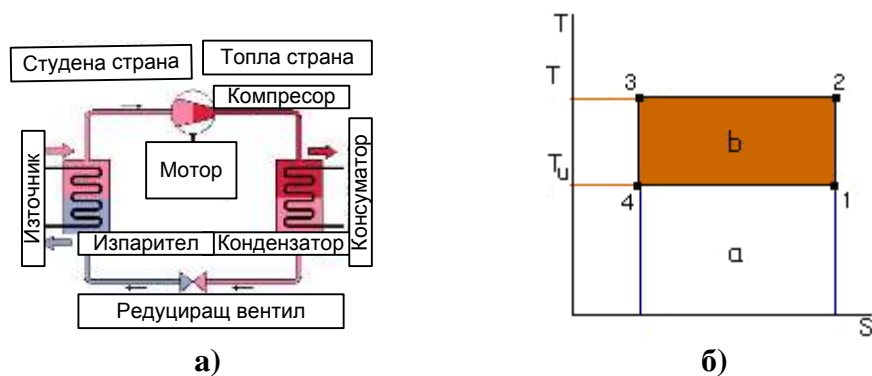
Фиг. 12.6. Слънчева изпарително-компресорна ТП, задвижвана от двигател с вътрешно горене

Фигурата показва, че студеният източник е воден резервоар, разположен в земята. Той се нарича латентен топлинен източник, чието нагряване се извършва от слънчеви панели. Този модел не трябва да се идентифицира със слънчев панел - комбо система на ТП.



Фиг. 12.7. Слънчева термопомпа, активирана от газ (ГСТП/ GHP).

12.4. Теория на ТП. Коефициент на трансформация (КТ)



Фиг. 12.8. Структурна схема на ТП:

а – принцип на работа; б - термодинамичен цикъл, описан в T-S координати.

Според термодинамиката електрическа изпарително-компресорна ТП действа на основата на обратимия цикъл на Карно (фиг. 12. а,б).

Когато се представя термодинамичният цикъл в T-S координати (T – абсолютна температура; S – система на ентропия, която е равна на енергията в определено състояние), термодинамичните процеси са както следва: 1-2 ; 2-3 кондензиране; 3-4 разширение; 4-1 изпарение.

Използвани величини:

T - температурата на тялото, получаващо топлина (топлинна мивка), K;

T_u - температурата на тялото, отдаващо топлина (студен източник) , K;

e - коефициент на трансформация на Карно;

T- T_u - разликата в температурите между топлия и студения източник, K;

Уравнението, изразяващо коефициентът на трансформация на Карно е:

$$e = \frac{T}{T - T_u} . \quad (12.1)$$

Геометричната интерпретация на повърхностите, определени в T- S системата са:

Повърхност а - абсорбираната енергия от околната среда;

Повърхност б - консумираната енергия от компресора;

Повърхност а+б - общата обменена енергия в топлинната мивка;

с - ентропията (количеството енергия в дадено състояние)

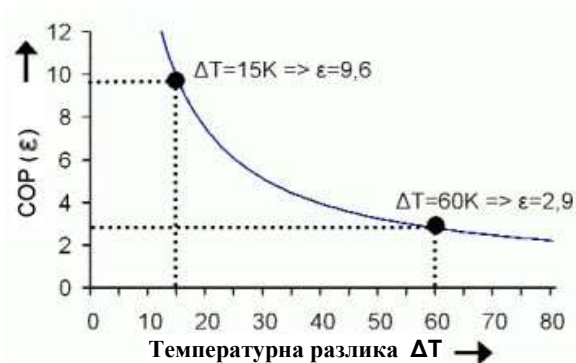
Пример

Ако се приеме, че ТП има следните параметри на действие: T_u = 273 K (0° C); T = 308 K (35 °C), то коефициентът на трансформация на Карно е:

$$e = \frac{T}{T - T_u} = \frac{308}{308 - 273} = 8,8 . \quad (12.2)$$

Трябва да се отбележи, че вече споменатата T- S диаграма е изцяло теоретична, тъй като в природата няма идеални процеси.

Поради топлинни, механични и електрически загуби, стойността на коефициентът на Карно е много по-нисък в реален процес (много специалисти определят, че е равен на 50% от идеалната стойност). Следва да се отбележи, че: *реалният коефициент на трансформация зависи от температурната разлика между студения източник и топлинната мивка. В заключение, ако се търси максимална ефикасност, тогава температурното отношение между студения източник (вода, въздух и земя) и топлинната мивка трябва да е колкото се може по-ниско. За да се постигне желаната стойност, трябва да се използват ниско температурни системи за разпределение на топлината (30-40)°C, като например: подово отопление, отопление през стената и вентилатори.*



Фиг. 12.9. Към коефициента на трансформация.

Използването на класически системи е единствено възможно във вреда на КТ, който драстично ще се понижи. Задължително е да се спомене температурата на студения източник и температурата на топлинната мивка/топлинния преливник, когато се представя КТ на ТП. Производители и доставчици на ТП могат да подведат потенциални бенефициенти, като включат стойността на КТ в техническите спецификации, без да посочи разликата в температурата на студения и топлия източник.

В заключение, ефективността на ТП, базирана на вече споменатите аспекти, се увеличава, когато температурната разлика между студения източник и топлинната мивка/топлинния преливник намалява.

Ако следното отношение се изчисли:

$$\frac{\text{Произведена термична мощност}}{\text{Мощност, обменена от студения източник} + \text{електрическа мощност, абсорбирана от компресора}}$$

може да се направи извода, че уравнението кореспондира на КТ, описан по-горе.

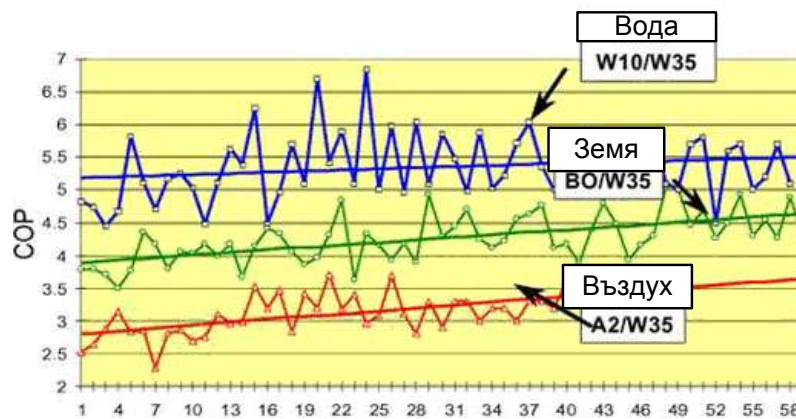
Бележки:

1. Ако ТП има $KT=5$ (като се посочи температурната разлика), това означава, че същата ТП произвежда мощност от 5 kW, като се използва 1kW ел. мощност.

2. Стойността на КТ е моментна стойност. За да се определи стойността на КТ точно, трябва да се вземе по-дълъг период от време (например една година). По този начин се определя годишен КТ, който е очевидно различен от моментния (по принцип, за да се изчисли КТ, всички спомагателни консумации, например от помпи за извличане, рециркулиращи помпи и др., трябва да бъдат отчетени). Професионалните производители и доставчици на ТП посочват КТ и температурната разлика в техническите спецификации.

3. КТ на ТП в охладителна система (летен климатик) се нарича EEC/EER – енергийно ефективно съотношение. В тази оперативна система, ТП функционира въз основа на нормален цикъл на Карно и се превръща в истински „хладилник“.

4. Абревиатурите „КТ“ (Отоплителен коефициент) и „EER/EEC“ (енергийна ефективност на охлаждането) отговаря на абревиатурите в английския език и е лесно да се определят съответните коефициенти в специализираната литература, или техническите спецификации. Стойността на EER/EEC е особено важна в определяне параметрите на обратими ТП, тъй като вложеното охладено количество енергия е по-голямо от затопленото количество енергия, и според ситуацията, мощността на компресора ще определи охладеното количество енергия.



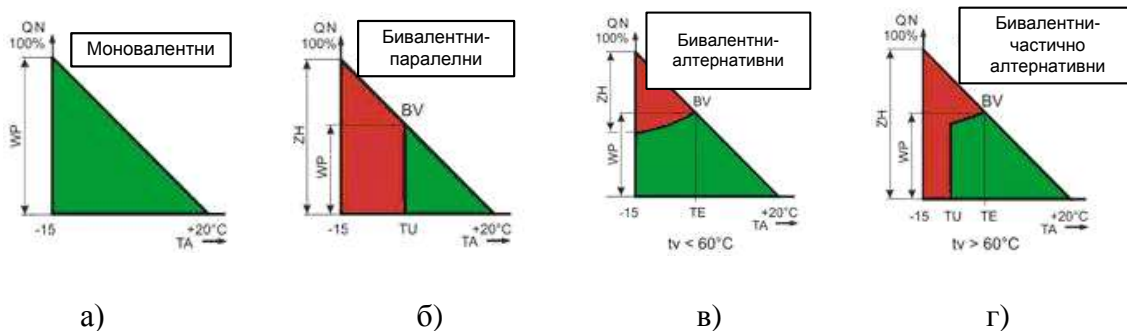
Фиг. 12.10. Стойност на COP за различни видове ТП

5. Засега, едни от най-ефикасните ТП имат стойност на КТ = (3,5 ... 5,5), като в редки случаи тези стойности се надхвърлят (фиг. 12.10). ТП, произведени от австрийската компания NEURA, са подобен пример. Техните ТП имат специален дизайн, който позволява да достигнат КТ около 8, когато функционират в екологичен режим.

12.5. Условия за експлоатация на ТП

Възможни са следните типове условия на експлоатация:

- **моновалентни** - ТП е единственият източник на топлина, който използва електрическата енергия като преносител на енергия (фиг. 12.11а);
- **бивалентни – паралелни** - ТП едновременно се използват със друг топлинен източник. Когато източникът, който се експлоатира заедно със ТП е енергийно задвижван, тогава той трябва да се счита за **моноенергичен бивалент – паралелна система** (фиг. 12.11б);
- **бивалентни – алтернативни** - ТП или другият топлинен източник са в експлоатация (фиг. 12.11в);
- **бивалентни – частично-паралелни** (фиг. 12.11г);



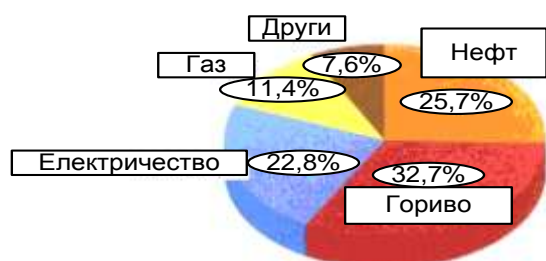
Фиг.12.11. Условия на експлоатация на ТП

Условията на експлоатация са крайно важни за оразмеряването на ТП и могат да се анализират следните ситуации:

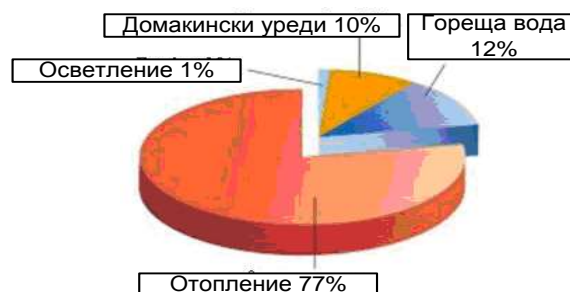
- Прекалено големи ТП - големи инвестиционни разходи, а също така при поява на неизправности в помпите, като чести включвания и изключвания, се наблюдава интензивно износване;
- Прекалено малки ТП, които са причина за увеличаване на времето на експлоатация, което предизвиква ускорено износване;
- Споменатите проблеми, наред с много други, превръщат ТП в специален продукт. Следователно, когато се предлагат ТП, главните изисквания са добро познание на характеристиките на тези машини.

12.6. ИКТП – приложение, наличност, ефективност и разходи

Използването на ТП води до осигуряване на топлинна енергия за отопление в затворени помещения, както и затопляне на водата в домакинството. Статистиката показва, че в Швейцария близо 7,6% от използваните на главните енергийни носители са на основата на ТП.

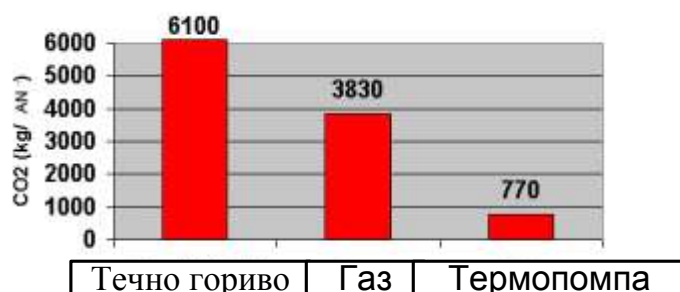


Фиг. 12.12. Структура на използване на главните енергийни носители



Фиг. 12.13. Енергийна структура в типично домакинство

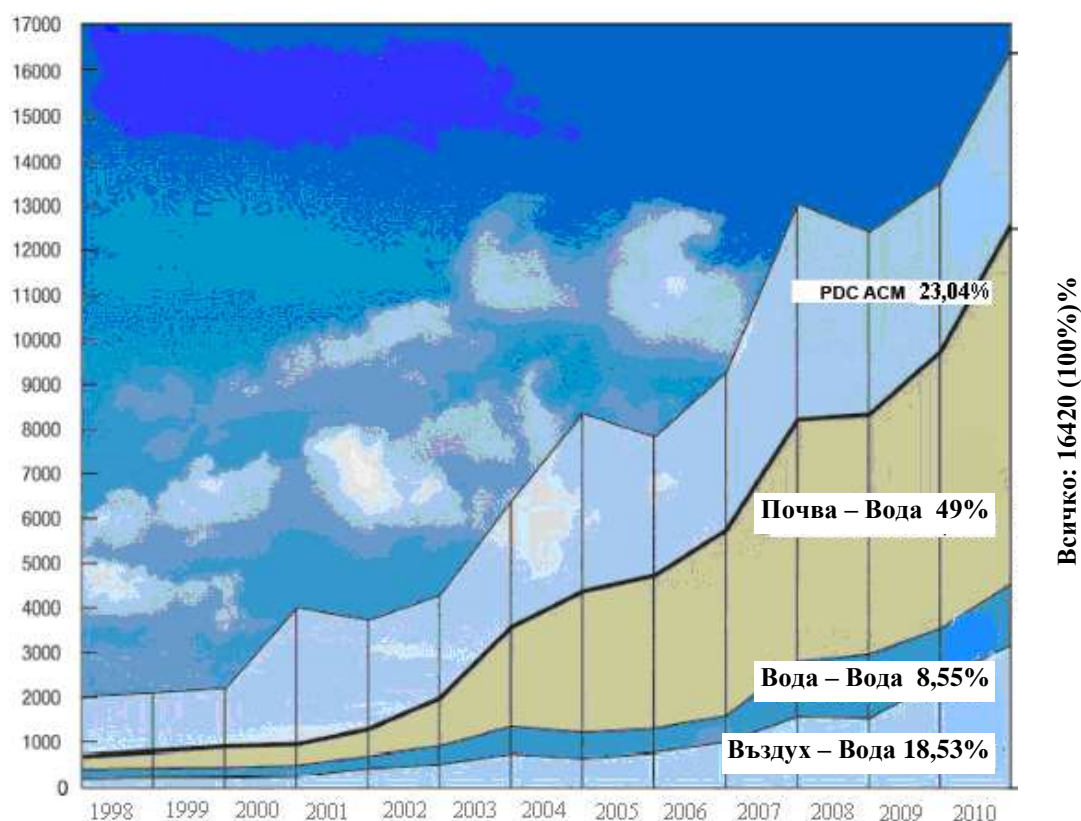
В развитите страни необходимата топлина за отопление на затворени помещения заема значително място (фиг. 12.12). От общото количество на консумирана енергия: 22,8% е електрическа; 11,4% - от газ; 32,7% - от твърдо гориво; 25,5 % - от нефтопродукти; 7,6% - други. В едно домакинство с нормален стандарт на живот количествата са както следва: 1% е енергията, отделяна за осветление; 10% - енергия, използвана от битови уреди; 12% - енергия, използвана за производство на топла вода; 77% - енергия за отопление на затворени помещения (фиг. 12.13).



Фиг. 12.14. Емисии на CO₂ и конвенционални енергийни системи

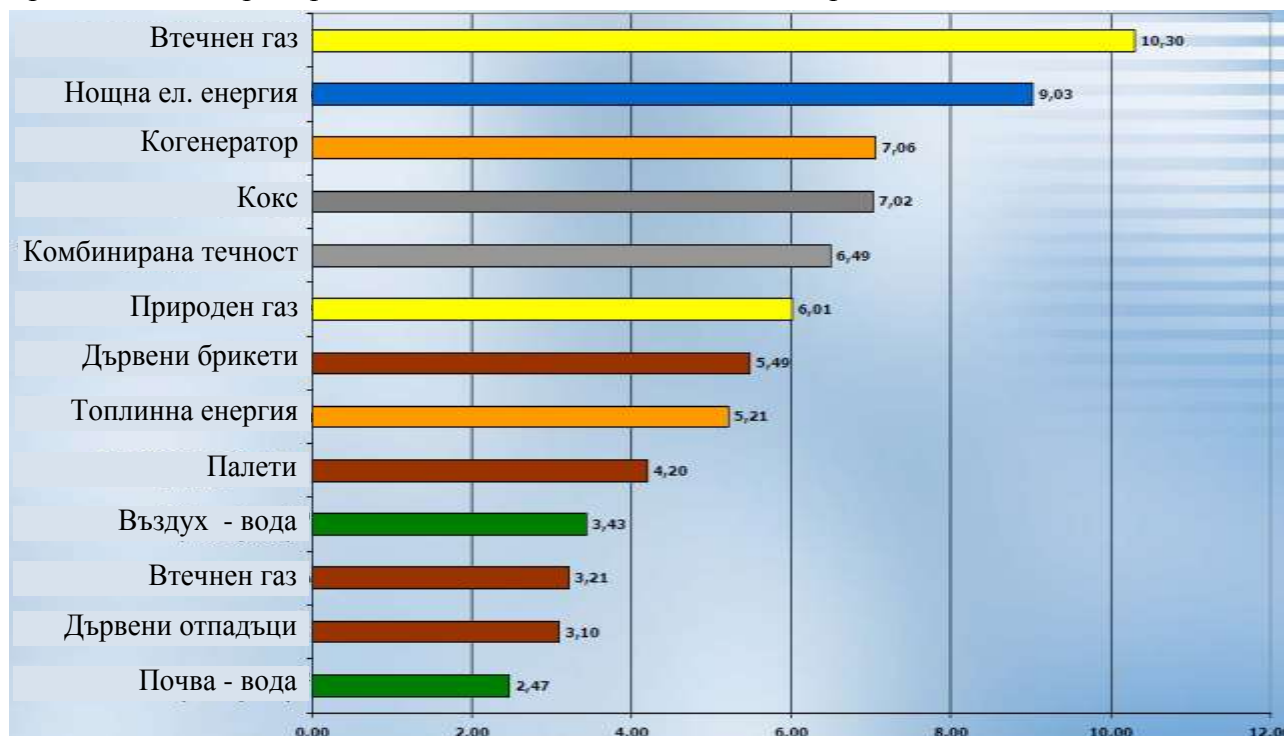
Освен предимството на намалени разходи на експлоатация, ТП са полезни и за околната среда, тъй като отделят по-малко вредни емисиите CO₂ (фиг. 12.14).

Най-ефективната ТП е тази, работеща по схемата вода – вода (фиг. 12.15).

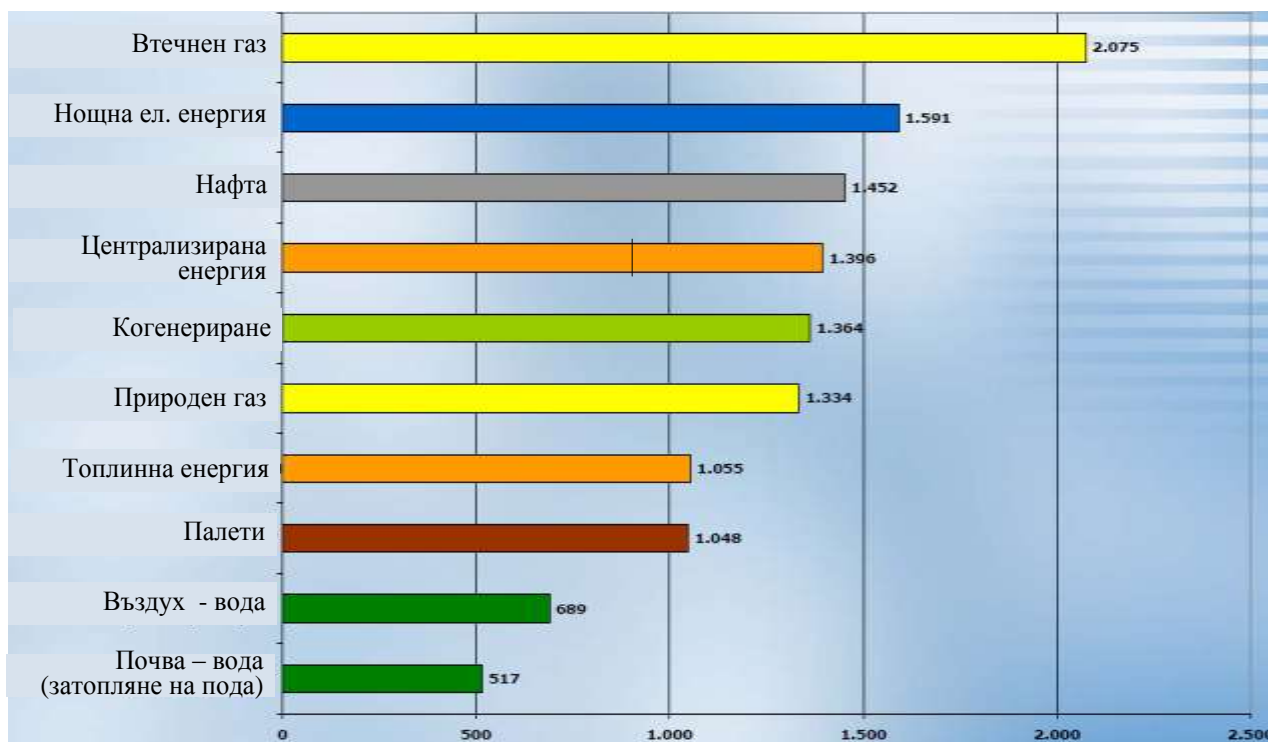


Фиг. 12.15. Процентно разпределение на продадените ТП в Германия.
(Немската Федерална Асоциация на строителите на ТП)

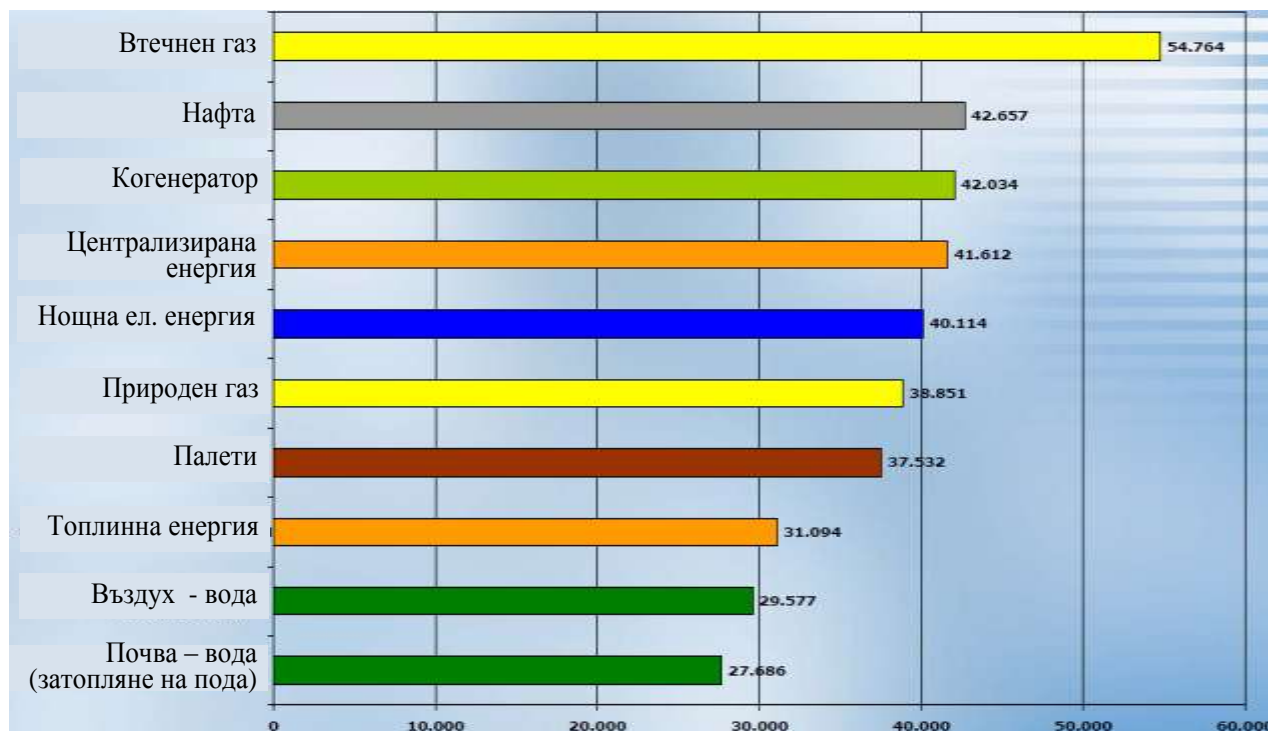
Относителният анализ между инвестиционните разходи и разходите за обикновено отопление е в основата, за да се вземе решение дали да се приложи системата на ТП. Представени са примерни изчисления за къща с 175 m² застроена площ.



Фиг. 12.16. Разходи за 1kW (в евро центове)



Фиг. 12.17. Годишни разходи за отопление (в евро за 175 m² застроена площ, като се изключва потреблението на топла вода)



Фиг. 12.18. Общи разходи за отопление за 20 год. (в евро за 175 m² застроена площ, като се изключва потреблението на топла вода)

Индикаторите на изпълнение, които трябва да се вземат в предвид, са:

- цена на 1kW (фиг. 12.16);
- годишни разходи за отопление (фиг. 12.17);
- общи разходи за отопление за 20 год. (фиг. 12.18).

Тест за самоподготовка

1. На колко Келвинови градуси се равняват 45°C?

- а. 278;
- б. 308;
- в. 318;
- г. 228.

Отговор: с

2. ТП има следните експлоатационни параметри: $T_u = 278 \text{ K}$, отговаряща на 5 °C; $T = 318 \text{ K}$, отговаряща на 45 °C. Каква е стойността COP:

- а. 6,55;
- б. 7,95;
- в. 6,95;
- г. 5,65.

Отговор: б

3. По отношение на реалния COP, кое е неправилното твърдение:

- а. Стойността на COP зависи от температурната разлика между студения източник и топлинната мивка;
- б. Максималната ефикасност е изпълнена, когато температурното отношение между студения източник (вода, въздух, земя) и топлинната мивка е възможно най-ниското;
- в. COP не зависи от температурната разлика между студеният и топлия източник;
- г. Когато температурната разлика е дадена и $\text{COP} = 3,5$ за ТП, това всъщност означава, че същата ТП произвежда 1kW електрическа мощност и 3,5 kW топлинна мощност.

Отговор: с

12.7. Пример

Като използвате табл. 12.1, изчислете годишните разходи за отопление на дома, чиято площ е 250 m² и H=3m. Необходимата топлинна мощност (възможна за всяка от 5 топлинни възможности) е 50W/m² (сградата е относително добре изолирана).

Таблица 12.1

	Метанова енергийна станция	Станция на течен газ	Станция на течно гориво	Централно отопление (ел. енергия) (ЕЕ)	ТП отопление
Инсталирана топлинна мощност P_T , kW					
КПД или COP	0,9	0,9	0,8	1	5,5
Брой часове/ година на експлоатация N_h (часове)	1700	1700	1700	1700	1700
Цена на метан /GPL/cb.l./ЕЕ					
Калориферна мощност					
Годишен метан/LG/ cb.l. /ЕЕ консумация					
Годишни разходи, €					