

Модул 1

Технология на термопомпите

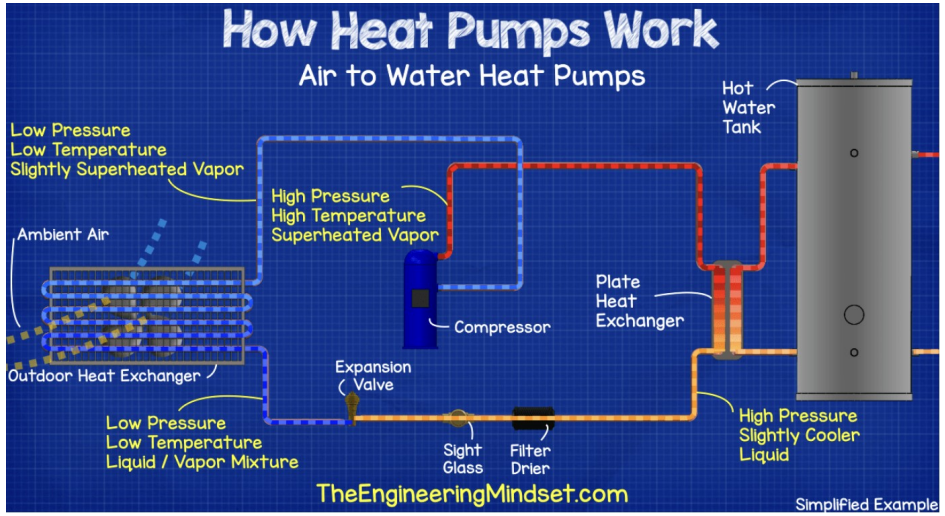
Разработено от Енергийна Агенция - Пловдив

Co-funded by the European Union

Co-funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or CINEA. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

Модул 1 общ преглед

Този модул осигурява техническата основа за разбиране на технологията на термопомпите като интегрирана термодинамична и инженерна система. Обучението започва с фундаменталните принципи на топлообмена и парокомпресионния цикъл, установявайки термодинамичната основа за работата и ефективността на термопомпата.



В него се разглеждат хладилните агенти и техните класификации за безопасност и въздействие върху околната среда, последвани от детайлен анализ на основните компоненти на хладилния кръг, включително компресори, изпарители, кондензатори и регулиращи органи. Обхванати са и допълнителни елементи на системата като четирипътни вентили, устройства за управление на маслото, филтър - изсушители, ресивери, вентилатори, циркулационни помпи и хидравлични компоненти.

Заедно тези теми изграждат цялостно разбиране за това как функционират термопомпите, как си взаимодействат техните компоненти и как изборът на системен дизайн влияе върху ефективността, надеждността и безопасната експлоатация.

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Модул 1 съдържание

Урок 1	Основи на термопомпите	Урок 7	Допълнителни компоненти на хладилния кръг
Урок 2	Термодинамика на парокомпресионния цикъл	Урок 8	Спомагателни компоненти
Урок 3	Хладилни агенти като работни течности		
Урок 4	Компресори		
Урок 5	Външни топлообменници (изпарители и кондензатори)		
Урок 6	Разширителни устройства		

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Re-Energize

УРОК 1

Основи на термопомпите

Co-funded by
the European Union

CC BY NC SA

Re-Energize

Урок 1 – Цели на обучението

В края на този урок участниците ще могат да:

1. Обяснят фундаменталния принцип на пренос на топлина „срещу естествената посока“ и аналогията между хидравличните помпи и термопомпите.

2. Опишат структурата и работата на парокомпресионния цикъл, включващ изпарител, компресор, кондензатор и разширителен вентил.

3. Разграничат технологиите за термопомпи с механична компресия, абсорбция и термо електричен ефект (елемент на Пелтие).

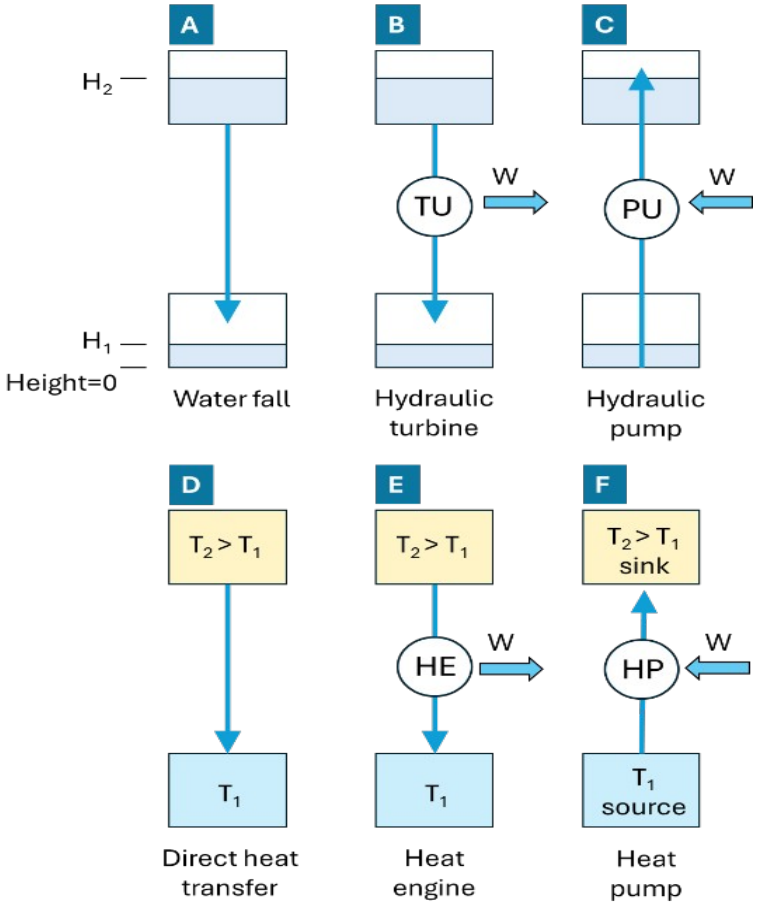
Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Концепция на термопомпите и аналогия

- Термопомпата е устройство, което използва входна работа, за да пренесе топлина от източник с ниска температура към приемник с висока температура. Тя не създава топлина, а по-скоро премества съществуващата топлинна енергия „нагоре“ срещу естествената посока на топлинния поток, подобно на хидравлична помпа, която повдига вода на по-високо ниво.

- В термопомпата механичната или електрическата работа „повишава качеството“(потенциала) на топлината, което позволява нейното извличане от студения околен въздух, почва или вода и доставянето ѝ в топлите вътрешни помещения. Фигура 1.1. илюстрира тази аналогия между хидравлична помпа и топлинна термопомпа.



Фигура 1-1. Аналогия между хидравлични и термални системи.

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Термопомпа срещу котел

За разлика от конвенционален котел (който изгаря гориво, за да генерира топлина), термопомпата пренася топлина. Котелът преобразува химическата енергия директно в топлинна енергия във водата, докато термопомпата използва работа, за пренасяне на околната топлина в отоплителния кръг.

В резултат на това, термопомпата може да достави повече топлинна енергия от вложената работа (COP > 1), защото голяма част от нейната изходна топлина идва от външната среда. На практика това означава, че термопомпите могат да постигнат по-висока ефективна ефективност, използвайки външната топлина, докато котлите са ограничени до 100% (или малко по-висока при кондензни) от енергийното съдържание на горивото.

Компоненти на термопомпите и подсистеми

Пълната термопомпена система се състои от три свързани подсистеми: **източник на топлина** (напр. земя, външен въздух или вода), **хладилен кръг** и **система за разпределение на топлината** (вътрешна). **Хладилният кръг** (затворен кръг) циркулира **работен флуид** (хладилен агент) през четирите основни компонента – **изпарител, компресор, кондензатор, разширителен вентил** – за да пренася топлина. При работа, хладилният агент абсорбира топлина от източника в изпарителя при ниско налягане, бива компресиран (повишавайки температурата си) и след това отделя топлина в кондензатора към разпределителната система при високо налягане. Охладеният течен хладилен агент след това се разширява, за да рестартира цикъла.
Чрез координиране на тези компоненти, термопомпата „изпомпва“ топлинна енергия през всички части на системата.

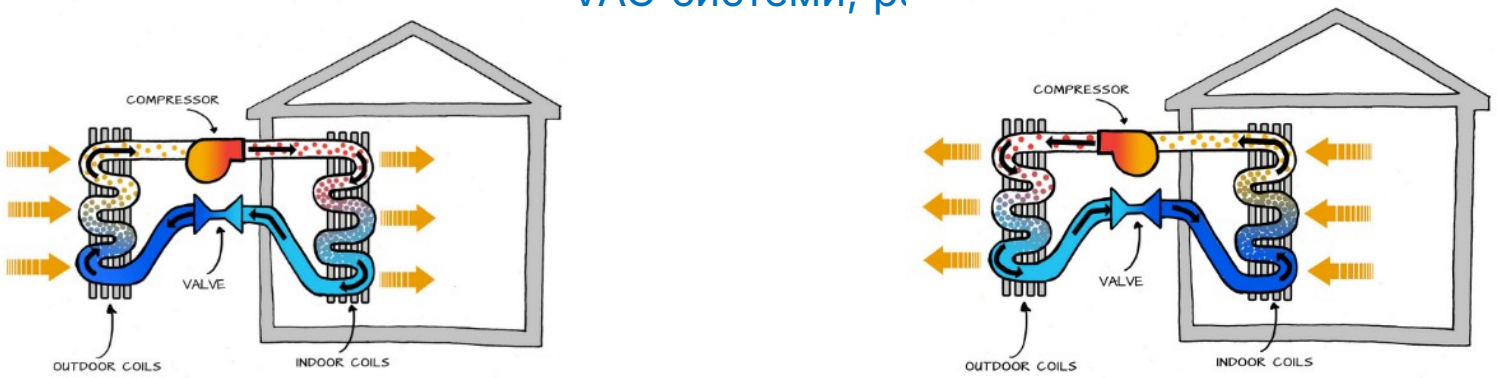
Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Видове термопомпи

Термопомпи с механична компресия (хладилен кръг)

Най-разпространената термопомпа използва механичния парокомпресионен цикъл, задвижван от компресор с електрическо захранване. В този цикъл, хладилният агент непрекъснато циркулира и претърпява фазови промени (течност ↔ пара). Компресорът повишава налягането и температурата на хладилния агент, позволявайки му да отдели топлина в кондензатора. След кондензация, хладилният агент се дроселира през разширителния вентил, за да се понижат неговото налягане и температура, след което се изпарява, абсорбирайки топлина от източника. Фигура 1.2. показва схема на термопомпа с механична компресия. Тези агрегати са широко използвани в жилищни и търговски HVAC системи, работещи на затворен хладилен кръг с компресор с електри



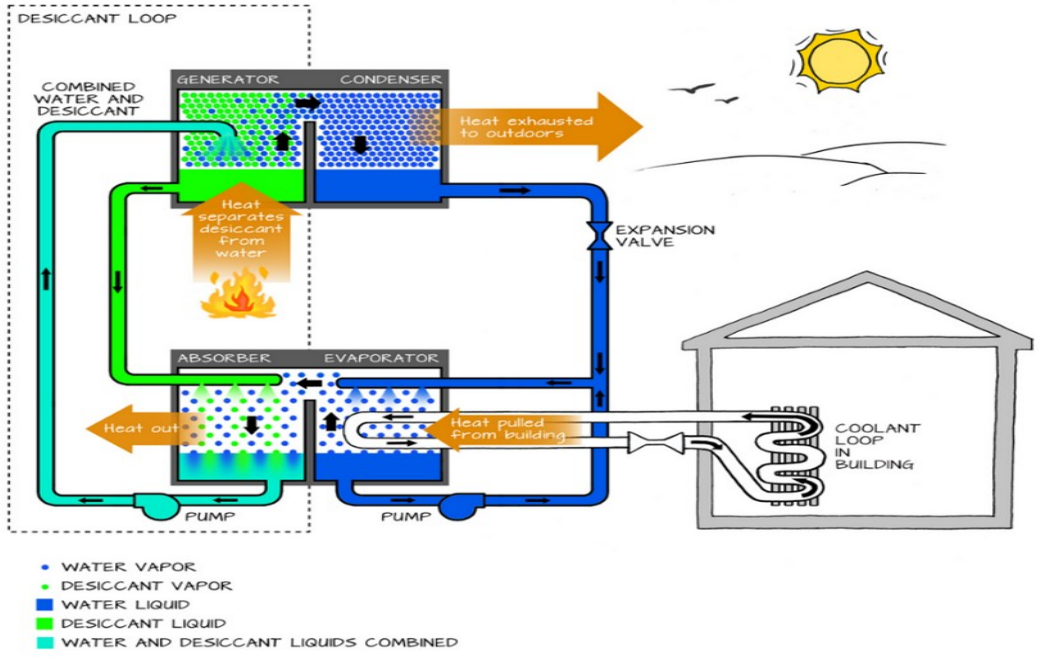
Фигура 1-2. Основен принцип на работа на термопомпа с механична компресия (лява страна: отопление на къщата, дясна страна: охлаждане на къщата)

Co-funded by the European Union

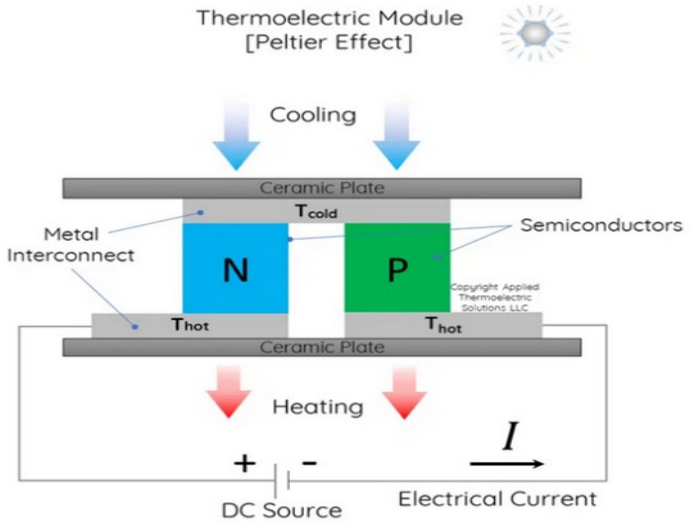
CC BY NC SA

Абсорбционни и Пелтие термопомпи

Освен механичната компресия, съществуват алтернативни технологии за термопомпи. **Абсорбционните термопомпи** използват генератор, захранван от топлина (често чрез газ или отпадна топлина), и двойка хладилен агент – абсорбент (напр. амоняк – вода), за да осъществят охлаждане без електрически компресор. Топлината задвижва цикъла, като причинява десорбция на хладилния агент от абсорбента (Фигура 1-3). **Термо електричните термопомпи (елементи на Пелтие)** използват твърдотелни полупроводникови модули: когато през контактната повърхност преминава електрически ток, топлината се „изпомпва“ от едната страна към другата (Фигура 1.4). Тези технологии са полезни в специфични нишови приложения (например системи, задвижвани от отпадна топлина).“



Фиг. 1-3. Двоен цикъл на абсорбционен чилър. Източник: Sustainability Workshop, Venture Well



Фиг. 1-4. Концептуална схема на Пелтие клетка. Източник: Applied Thermoelectric Solutions

Co-funded by the European Uni
CC BY NC SA

Логика на парокомпресионния цикъл

Изпарител: Процес на изпарение на хладилния агент

Изпарителят е топлообменникът, който абсорбира топлина от нискотемпературния източник в хладилния агент. Вътре в изпарителя, студена смес от течност и пари под ниско налягане кипи (изпарява се) при постоянна температура на насищане. Докато преминава през серпентините на изпарителя, хладилният агент абсорбира голямо количество топлина (латентна топлина на изпарение) от околния въздух или почвата.
Това кара хладилния агент да се превърне изцяло в пара (често с леко прегряване) до момента, в който излезе от топлообменника. На практика, изпарителят преобразува постъпващата топлинна енергия от източника в топлина, пренасяна от парите на хладилния агент.

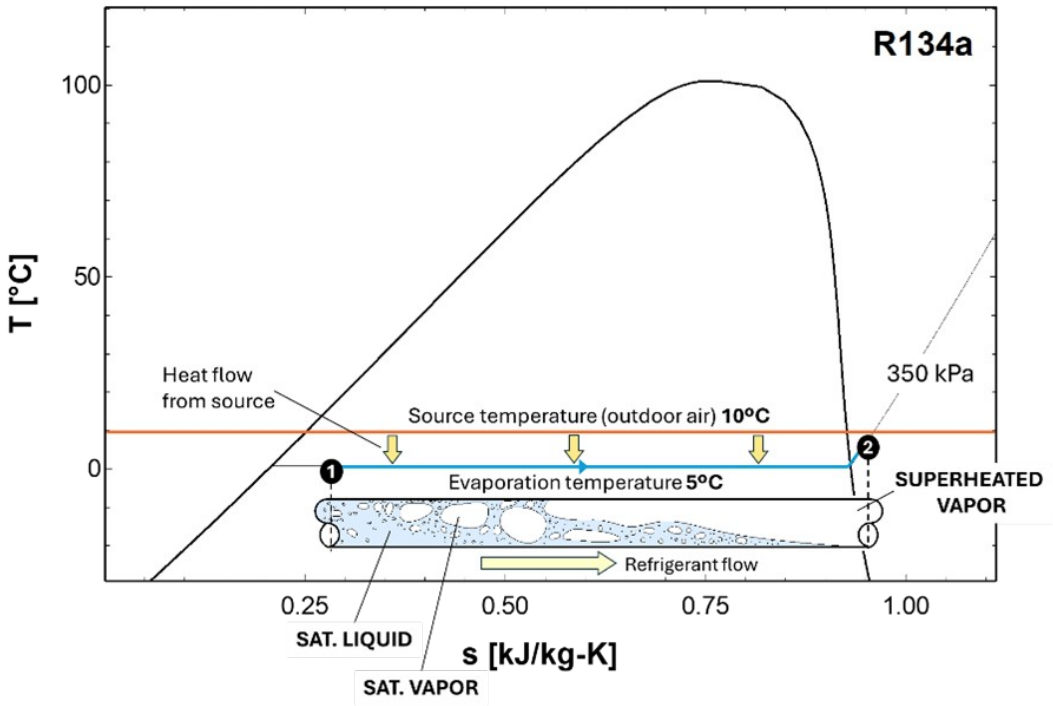


Figure 1-5. Изпарение на хладилния агент в T-s диаграма

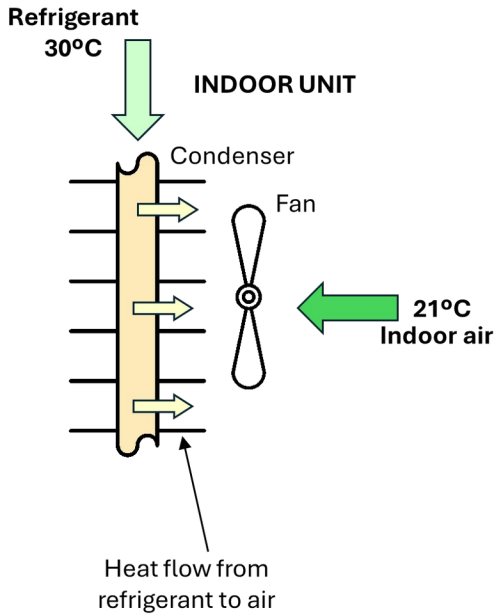
Co-funded by the European Union
CC BY NC SA

Кондензатор: Процес на кондензация на хладилния агент

Кондензаторът е топлообменникът, който отделя топлина към приемника (вътрешното пространство или околната среда). В него постъпват горещи пари на хладилния агент под високо налягане от компресора.

Тъй като в кондензатора се поддържа високо налягане (и съответно висока температура на насищане), хладилният агент е с по-висока температура от тази на приемника. След това той кондензира при почти постоянна температура, отделяйки своята топлина. По време на тази фазова промяна, латентната топлина на изпарение се предава на приемника (напр. вътрешен въздух или вода).

Хладилният агент напуска кондензатора като течност под високо налягане при малко по-ниска температура. Резултатът е, че изпомпаната от източника топлина (плюс работата на компресора) се предава на приемника.



Фигура 1-6. Кондензация на хладилния агент

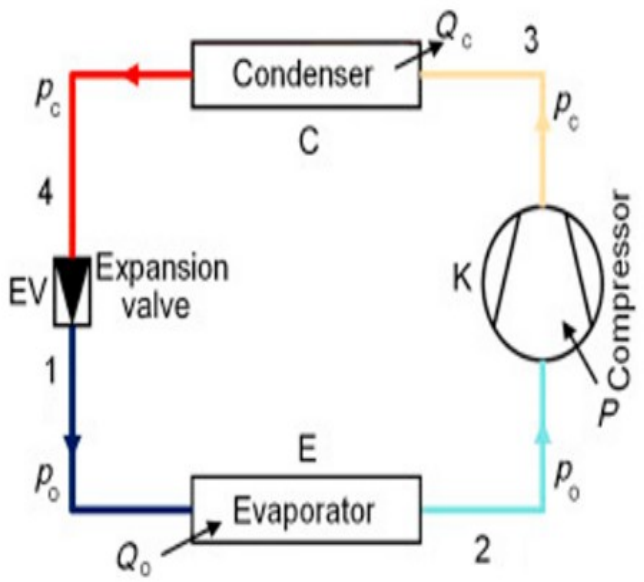
Co-funded by the European Union
CC BY NC SA

Прост парокомпресионен цикъл

Обединявайки всичко казано дотук, едностепенният парокомпресионен цикъл непрекъснато пренася топлина от нискотемпературния източник към високотемпературния приемник (виж Фигура 1.7). Топлината Qo се абсорбира от източника в изпарителя (при ниско налягане). След това компресорът повишава налягането и температурата на хладилния агент чрез влагане на механична работа W. Кондензаторът отдава количество топлина Qc (равно на Qo + W) към приемника. Накрая, разширителния вентил понижава налягането обратно до нивото на изпарителя. Като цяло, през всеки цикъл термопомпата доставя към приемника топлина:

$$Q_h = Q_0 + W$$

Тъй като Q_h включва както абсорбираната околна топлина Q_0, така и работата, коефициентът на полезно действие ($\mathrm{COP} = Q_h/W$) може да бъде значително по-голям от 1. Това подчертава термодинамичното предимство на термопомпата.



Фигура 1-7. Схема на едностепенна компресионна хладилна система

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

УРОК 2

Термодинамика на парокомпресионния цикъл

Co-funded by
the European Union

CC BY NC SA

Re-Energize

Урок 2 – Цели на обучението

В края на този урок участниците ще могат да:

1. Обяснят концепцията за температурен напор и неговото въздействие върху ефективността на термопомпата и нейния COP.

2. Интерпретират термопомпата като обратен топлинен двигател и да дефинират коефициента на полезно действие (COP).

3. Разграничат идеалните цикли на Карно от реалните цикли и идентифицират източниците на термодинамична необратимост.

Co-funded by
the European Union

CC BY NC SA

Re-Energize

Температурен напор и ефективност на термопомпата

Ефективността (COP) на термопомпата е силно чувствителна към температурния напор между източника и приемника. По-малката температурна разлика (т.е. по-топъл източник или по-студен приемник) означава, че е необходима по-малко работа от компресора, което води до по-висок COP.

Обратно, когато температурата на изпарителя пада под тази на източника (или температурата на кондензатора се повиши над тази на приемника), необходимата работа се увеличава драстично, намалявайки производителността.

Поради тази причина проектантите се стремят да минимизират температурните разлики между източника и приемника винаги, когато е възможно. Чрез повишаване на температурата на източника или понижаване на температурата на разпределителната система, термопомпата работи с по-малък напор и значително по-добра ефективност.

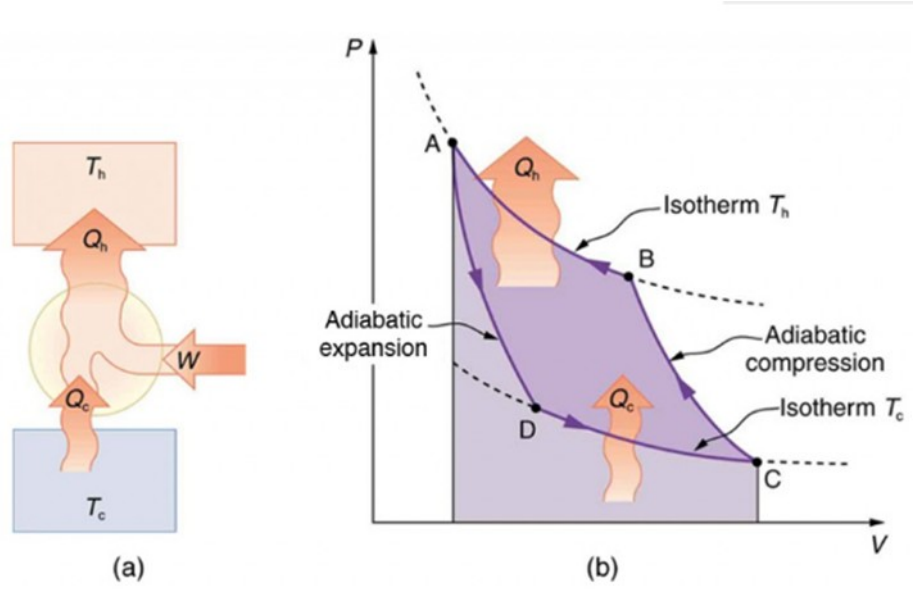
Co-funded by
the European Union

CC BY NC SA

Термопомпата като обратна топлинна машина (концепция за COP)

Термопомпата може да бъде разглеждана като обратна топлинна машина. В идеалния цикъл на Карно, работа W се използва, за придвижване на топлина Q0 от студен резервоар към горещ резервоар, доставяйки топлина Qh=Q0+W към приемника (Фигура 2-1). Коефициентът на полезно действие се определя като COP=Qh/W

На теория, термопомпата на Карно, работеща между температурите на източника и приемника, притежава максималния възможен COP за тези температури. В практически смисъл, това означава, че за дадено количество вложена работа, помпата може да премести (или „изпомпа“) топлина така, че нейната отдадена топлинна мощност да надвишава вложената работа. Реалните термопомпи се доближават до този лимит, но винаги са ограничени от редица несъвършенства.



Фигура 2-1. Двигател на Карно : (a) схематична диаграма на преноса на топлина; (b) диаграма на обратен цикъл на Карно

Co-funded by the European Union

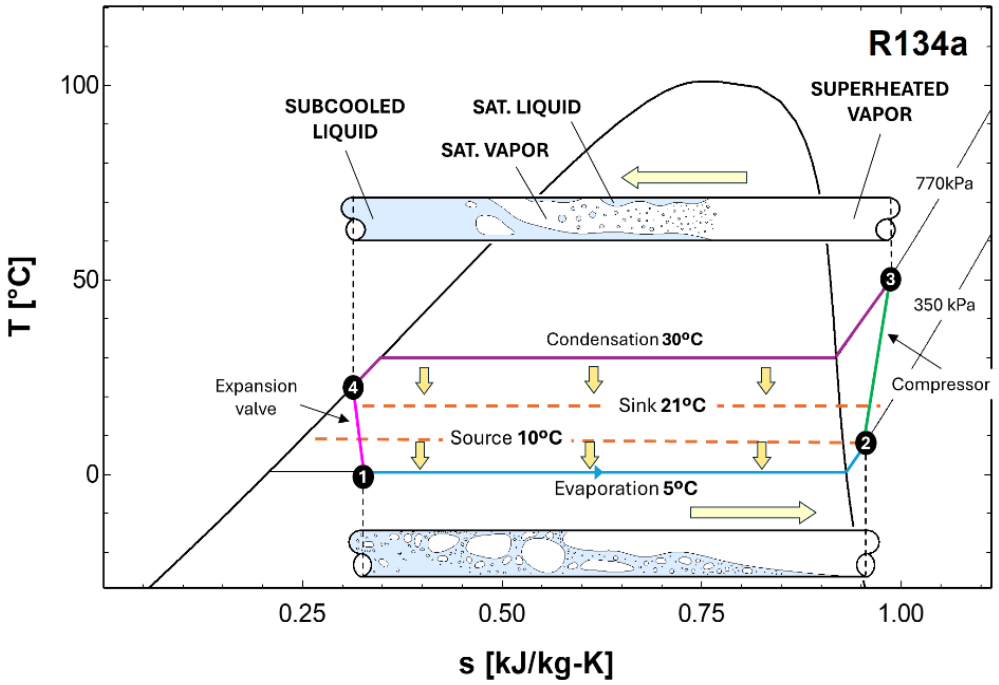
CC BY NC SA

Интерпретиране на парокомпресионния цикъл върху термодинамична диаграма

Парокомпресионния цикъл може да бъде представен чрез термодинамични диаграми като например диаграмата Температура–Ентропия (T–s) (Фигура 2-2.) или диаграмата Налягане–Енталпия (p–h). Тези диаграми предоставят графична интерпретация на физичните процеси, протичащи в термопомпата. Четирите основни процеса са:

- **Изпарение** (ниско налягане): Хладилният агент абсорбира топлина от източника при почти постоянна температура, докато променя фазата си от течност в пара.
- **Компресия**: Компресорът повишава налягането и температурата на хладилния агент чрез влагане на механична работа.
- **Кондензация** (високо налягане): Хладилният агент отдава топлина към приемника при почти постоянна температура, докато кондензира до течност.
- **Разширение:** Разширителният вентил понижава налягането, причинявайки спад на температурата, преди хладилният агент да навлезе отново в изпарителя.

В идеалния цикъл, компресията е изоентропна (постоянна ентропия). В реалните системи, ентропията се увеличава поради необратимостта на процесите, което намалява ефективността.



Фигура 2-2. Машина на Карно: (а) принципна схема на топлообмена; (б) диаграма на обратен цикъл на Карно.

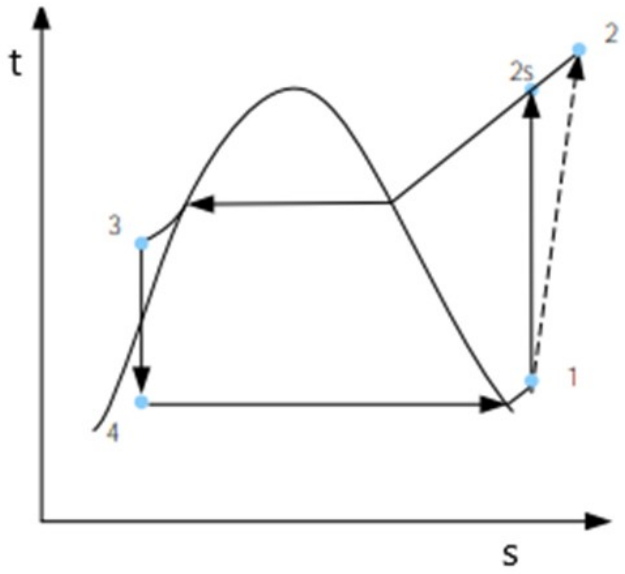
Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Ефективност на Карно и необратимост

Фигура 2-1 илюстрира ефекта на реалната необратимост върху термодинамиката на термопомпата. В практиката, компресията не е изоентропна (виж пунктираната срещу плътната линия на Фигура 2-3), а крайните температурни разлики през топлообменниците водят до генериране на ентропия. Тези загуби означават, че действителният COP е по-нисък от идеалния COP на Карно.

Например, спадовете на налягане и неидеалното поведение на газа изискват допълнителна работа. T–s диаграмата също показва допълнителната ентропия, генерирана по време на реалната компресия. Накратко, всяко отклонение от реверсивния (обратимия) цикъл – като пренос на топлина при температурна разлика или триене в компресора – намалява общата ефективност и COP.



Фигура 2-3. Реален срещу идеален парокомпресионен цикъл T–s диаграма

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Термодинамични аспекти при проектирането и влияние върху ефективността на термопомпата

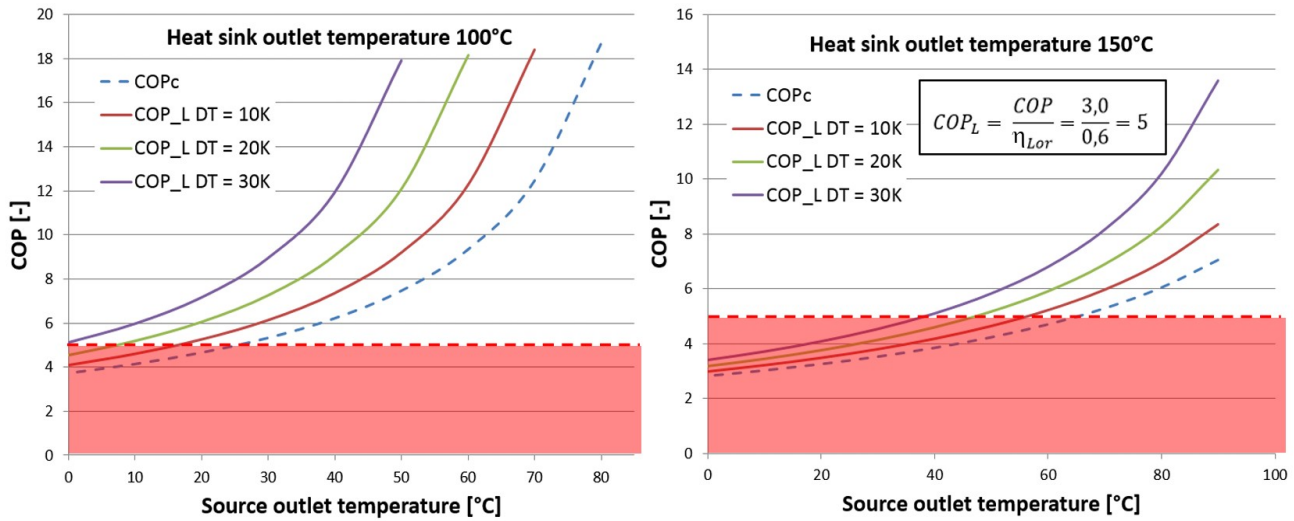
Термодинамичните принципи на парокомпресионния цикъл пряко влияят върху проектирането на системата и нейните експлоатационни характеристики.
Коефициентът на полезно действие (COP) се увеличава, когато:

- Температурната разлика между източника на топлина и приемника на топлина е намалена (Фигура 2.4.)
- Изпарителят работи при по-висока температура.
- Кондензаторът работи при по-ниска температура.

Необратимостта на процесите, като например неизоентропна компресия, падове на налягането и пренос на топлина при големи температурни разлики, намаляват ефективността на системата.
В практически план, това означава:

- По-ниските температури на подаване на отоплителната система подобряват производителността.
- По-високите температури на източника (напр. земята спрямо студения въздух) повишават ефективността.
- Правилното оразмеряване на топлообменниците намалява температурния напор и подобрява COP.

Следователно термодинамичната оптимизация е пряко свързана с решенията за проектиране на системата и подбора на нейните компоненти.



Фигура 2-4. COP според промяната на температурата както в източника, така и в приемника

Co-funded by the European Union
CC BY NC SA

УРОК 3

Хладилни агенти като работни течности

Co-funded by
the European Union

CC BY NC SA

Re-Energize

Урок 3 – Цели на обучението

В края на този урок участниците ще могат да:

1. Опишат термодинамичните критерии, критериите за безопасност и екологичните показатели, използвани при избора на хладилен агент.
2. Интерпретират системите за класификация на хладилните агенти (ASHRAE/ISO), включително категориите за токсичност и запалимост.
3. Анализират съвременните тенденции към използване на хладилни агенти с нисък GWP (потенциал за глобално затопляне) и техните последици за проектирането и безопасността на термопомпите.

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Re-Energize

Роля и критерии за избор на хладилни агенти

- Хладилните агенти са работните флуиди, които пренасят топлина в парокомпресионния цикъл. Техните термодинамични свойства (температура на кипене, латентна топлина, плътност, специфичен топлинен капацитет) пряко влияят върху дизайна и ефективността на системата.

- Добрите хладилни агенти имат висока латентна топлина, висок обемен капацитет (така че оборудването да бъде компактно) и стабилно, предвидимо поведение. Изборът зависи също от нетермодинамични фактори: безопасност (ниска токсичност, допустима запалимост), химическа стабилност, съвместимост с материалите и въздействие върху околната среда (нулев потенциал за разрушаване на озоновия слой (ODP) и нисък потенциал за глобално затопляне (GWP)).

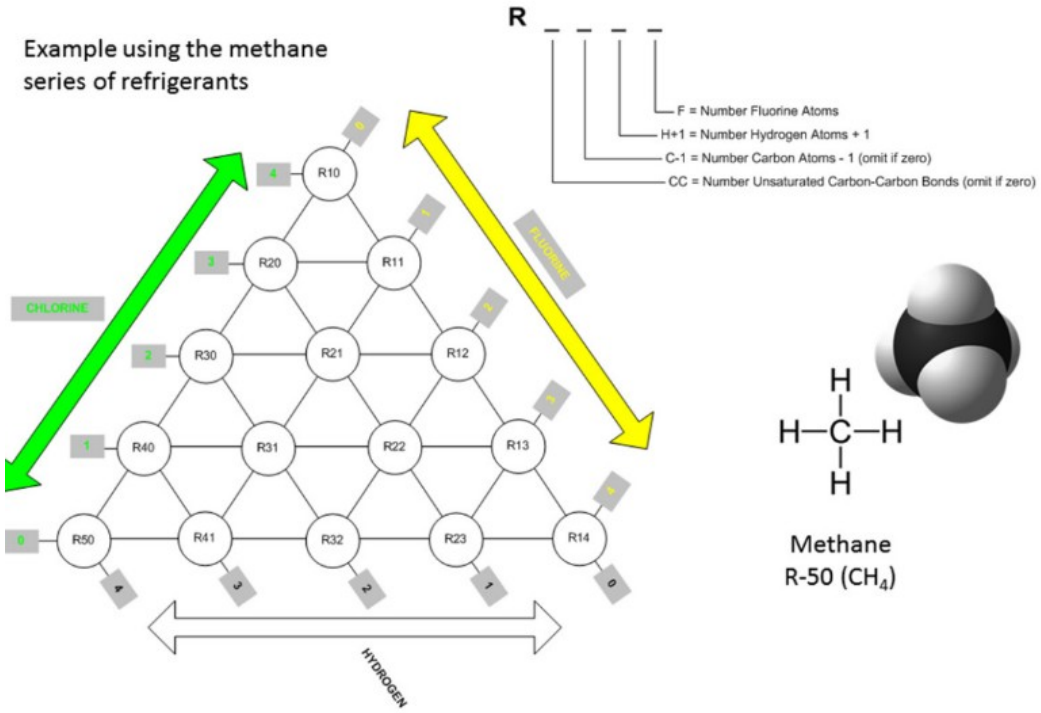
- Всички тези критерии трябва да бъдат балансирани: подобряването на едно свойство често изисква компромис с друго. В съвременните системи, нулевият ODP е стандарт, а хладилните агенти се избират така, че да минимизират GWP, като същевременно отговарят на изискванията за производителност и безопасност.

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Наименуване и класификация за безопасност на хладилните агенти

- Хладилните агенти се идентифицират чрез R-номера по ASHRAE/ISO (напр. R-410A, R-134a, R-290). Номерационната система на ASHRAE кодира химическия състав: например, R-134a е тетрафлуоретен, R-290 е пропан.
- Безопасността се класифицира с буква (токсичност) и номер (запалимост) съгласно стандарт 34 на ASHRAE (ISO 817). Хладилните агенти от **клас А** са с ниска токсичност, докато тези от **клас В** са с по-висока. Степента на запалимост се обозначава с: „1“ = незапалим; „2L“ = слабо запалим; „2“ = запалим; „3“ = силно запалим.
- Например, пропанът (R-290) е клас А3 (ниска токсичност, висока запалимост), R-134a е А1 (незапалим), а амонякът (R-717) е B2L (токсичен, слабо запалим). Фигура 3.1. илюстрира конвенцията за номериране на ASHRAE и примери за R-номера.



Фигура 3-1. Пример на система за наименуване на хладилни агенти

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Основни термодинамични и екологични свойства

- Основните свойства на флуидите включват температура на кипене, критично налягане/температура и латентна топлина. Те определят работните налягания и оразмеряването на оборудването. Например, по-високата критична температура позволява работа при по-високи налягания на кондензация.
- Екологичните показатели са еднакво важни. Всички съвременните флуиди имат ODP = 0, но GWP варира в широки граници. CO_2 (R-744) има GWP ~1, докато старите флуорирани въглеводороди (HFC) имат GWP в хиляди. Нови хладилни агенти с нисък GWP (напр. HFO, естествени хладилни агенти) се внедряват, за да отговорят на регулаторните изисквания.
- Свойствата за безопасност (запалимост, токсичност) също ограничават избора. Таблица 3.1 в модула подчертава типични стойности (напр. R-410A: GWP 2088, A1; R-32: GWP 675, A2L; R-290: GWP 3, A3; R-744: GWP 1, A1).

Хладилна течност	Тип	GWP	ODP	Безопасност	Типично приложение	Ключови предимства	Ключови ограничения
R-410A	HFC смес	2088	0	A1	Въздушни/водни термопомпи	Незапалим, надежден	Висок GWP
R-32	HFC	675	0	A2L	Въздушни/водни термопомпи	Висока ефективност, по-нисък GWP	Слабо запалим
R-454B	HFC/HFO смес	466	0	A2L	Нови системи	Нисък GWP, ефективен	Слабо запалим
R-290	HC	3	0	A3	Битови/търговски	Много нисък GWP, ефективен	Силно запалим
R-744	CO2	1	0	A1	Индустриални, търговски	Незапалим, нулев GWP	Високо налягане, спад на ефективността при висока температура
R-134a	HFC	1430	0	A1	Бойлери, сушилни	Незапалим, надежден	Висок GWP

CC BY NC SA

Таблица 3-1. Термофизични свойства на хладилните агенти с нисък GWP

Тенденции към хладилни агенти с нисък GWP

- Международните регулации (Монреалски протокол/Кигалийска поправка, ЕС F-Gas) налагат бърз отказ от флуорираните въглеводороди (HFC) с висок GWP. Индустрията се насочва към алтернативи с ултра-нисък GWP: хидрофлуоролефини (HFO) като R-1234yf (GWP~4), и естествени флуиди (CO_2, амоняк, въглеводороди). Хибридни смеси (HFC/HFO) също се използват като преходни решения. Тези нови флуиди обикновено са по-запалими (A2L или A3), но имат незначителен ODP и GWP.

- В резултат на това, модерните дизайни на термопомпи включват засилени мерки за безопасност като: усъвършенствано откриване на течове; вентилация; ограничения в количеството на хладилния агент (заряда), заедно със съответствие с новите стандарти за безопасност (напр. IEC 60335-2-40 за хладилни агенти от клас A2L).

- Изследванията са фокусирани върху постигането на производителност, еквивалентна на старите хладилни агенти; например, усъвършенствани компоненти на цикъла (ежектори, паралелна компресия, специално преохлаждане) помогнат на системите с CO_2 да постигнат ефективност, сравнима със старите HFC системи.

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

УРОК 4

Компресори

Co-funded by
the European Union

CC BY NC SA

Re-Energize

Урок 4 – Цел на обучението

В края на този урок участниците ще могат да:

- Обяснят функцията на компресора в рамките на парокомпресионния цикъл и неговото влияние върху производителността на системата.
- Сравнят бутални, ротационни, спирални (scroll) и винтови компресори по отношение на техните принципи на работа и области на приложение.
- Оценят влиянието на необратимостта на процеса на компресия и на изоентропната ефективност върху COP на термопомпата.

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Re-Energize

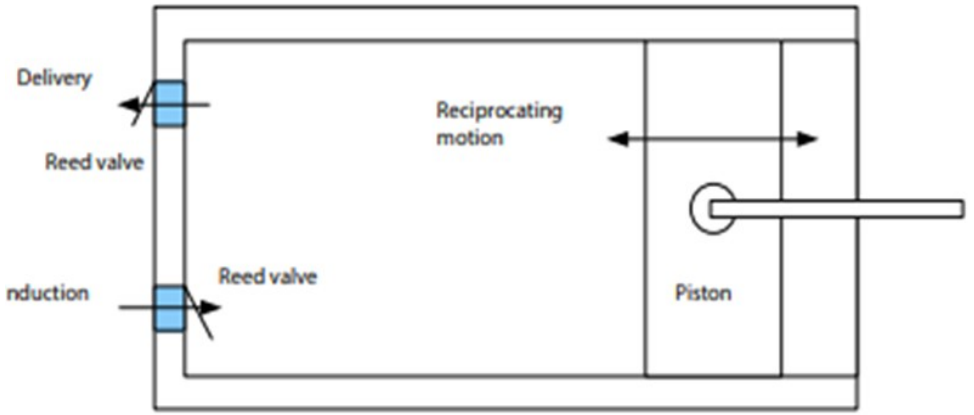
Функция на компресора в термопомпите

Компресорът е сърцето на парокомпресионната термопомпа. Той повишава налягането и температурата на хладилния агент (от налягане на изпарение до налягане на кондензация) чрез извършване на работа. Това създава разликата в наляганията, която задвижва целия цикъл. На входа на компресора хладилният агент е газ с ниско налягане; след компресията той излиза като газ с високо налягане и висока температура, готов за кондензация.

Изборът на тип компресор зависи от необходимия дебит и съотношението на налягането (степента на сгъстяване). Например, ротационният компресор е подходящ за голям дебит при ниско съотношение, докато буталният компресор е предназначен за по-малък дебит при високо съотношение на налягането. Фигура 4.1. показва цилиндър на типичен бутален компресор.

Бутални компресори (Фигура 4-1.)

Буталният компресор използва плъзгащо се бутало в цилиндър, за да сгъстява хладилния агент. По време на всмукателния ход буталото се движи навън, изтегляйки хладилния агент през всмукателния отвор. При сгъстителния ход буталото се движи навътре, като компресира газа и го изтласква през нагнетателния отвор.
Това пулсиращо действие се повтаря непрекъснато. Буталните компресори са често срещани в приложения със средна до висока мощност, осигурявайки значително повишаване на налягането. Те са сравнително прости като устройства и добре познати, но обикновено имат повече движещи се части и изискват постоянно смазване.



Фигура 4-1. Цилиндър на бутален тип компресор.

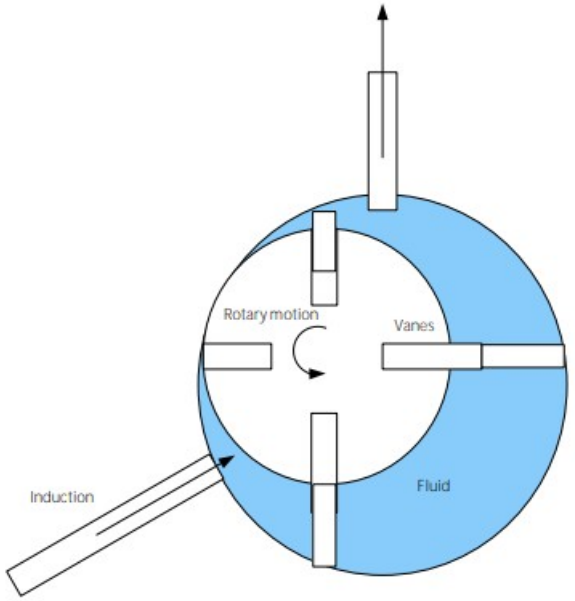
Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Ротационни и спирални компресори

- Ротационните компресори (Фигура 4-2) използват въртящ се ротор с пластини или винтове. При ротационен компресор с пластини, ексцентричен ротор с плъзгащи се лопатки улавя и сгъстява хладилния агент в непрекъснато свиващи се камери, докато се върти.

- Други ротационни типове включват винтови компресори (свързани винтове) и спирални компресори (две вмъкнати една в друга спирали). Тези конструкции осигуряват плавен поток (особено при ниски скорости), тиха работа и висока надеждност. В съвременните битови термопомпи, компресорите с двоен ротор са често срещани: два ротора на един вал позволяват висока ефективност при ниска скорост, намалявайки загубите от циклично включване/изключване и нивата на шум.
- Фигура 4-2. илюстрира обикновен пластинчат ротационен компресор.



Фигура 4-2. Ротационен компресор с пластини

Co-funded by
the European Union

CC BY NC SA

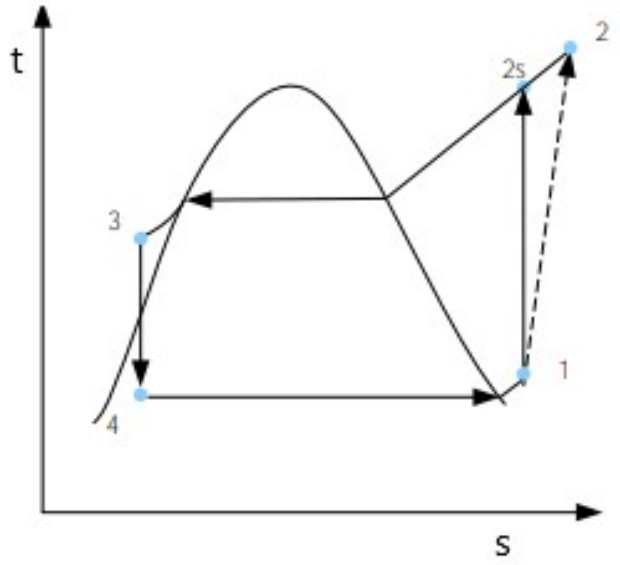
Необратимост при компресията (Фигура 4-3)

- Процесите в реалните компресори не са идеални. Триенето, топлообменът и механичните загуби правят компресията необратима. На T–s диаграмата (Фигура 4-3), действителният път на компресия (пунктирана линия) се отклонява от идеалния изоентропен път (плътна линия). Ентропията в края на компресията в реалността е по-висока, което означава, че е била необходима повече работа, отколкото в идеалния случай.

- Съотношението на идеалната към действителната работа се нарича изоентропна ефективност на компресора **μ(is):**

  μ(is) = W(ideal) / W(actual)

- По-ниската ефективност означава по-голяма консумация на енергия за едно и също повишаване на налягането, което намалява общия COP на системата. Фигура 4-3. от модула илюстрира тези загуби за типичен хладилен цикъл.



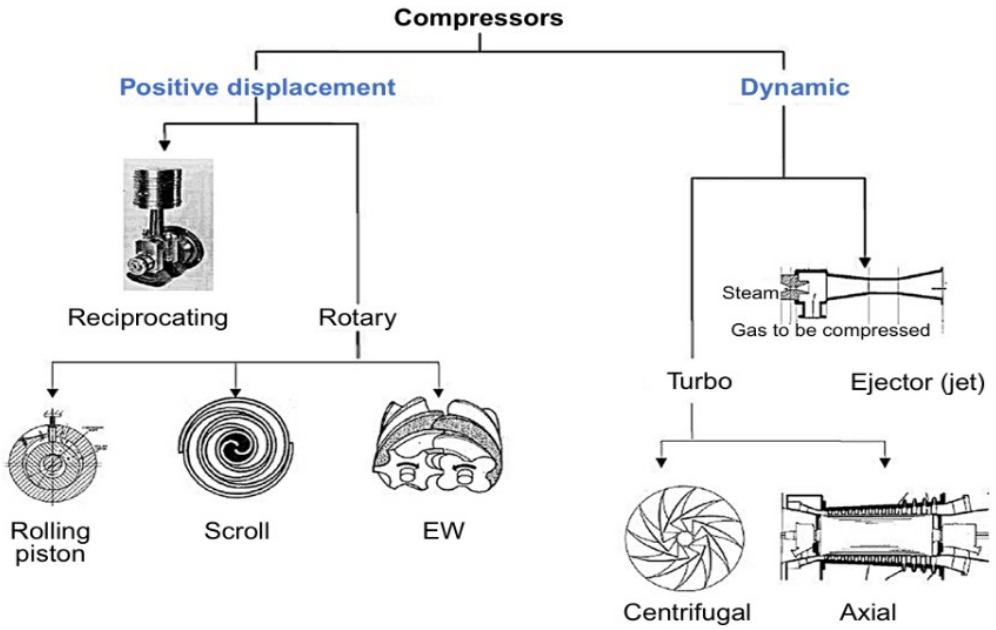
Фигура 4-3. T-s диаграма за парокомпресионния хладилен цикъл, включваща изоентропната ефективност на компресора

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Често срещани типове компресори (Фигура 4-4)

Фигура 4-4 обобщава основните типове компресори, използвани в термопомпите: **ротационни** (често срещани в малки системи), **спирални** (scroll) (широко използвани в малки и средни термопомпи заради тяхната тиха и ефективна работа), **бутални** (подходящи за средни до големи инсталации) и **винтови компресори** за системи с много голяма мощност. Всеки тип има своите предимства: спиралните са компактни и често не изискват смазване, буталните агрегати работят с високи налягания, а винтовите компресори се използват за много големи, промишлени чилъри. Изборът зависи от мащаба на системата, необходимата мощност и цената. Съвременните компресори често са херметични или полухерметични (затворени в общ корпус с двигателя) за по-голяма компактност, въпреки че това затруднява подмяната на двигателя.



Фигура 4-4. Типове компресори в термопомпите

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

УРОК 5

Външни топлообменници

Co-funded by
the European Union

CC BY NC SA

Re-Energize

Урок 5 – Цел на обучението

В края на този урок участниците ще могат да:

- Опишат термодинамичната роля на изпарителите и кондензаторите при абсорбцията и отдаването на топлина.
- Сравняват конфигурациите на топлообменници с въздушно и водно охлаждане и техните приложения.
- Обяснят механизмите на образуване на скреж върху въздушните изпарители при термопомпи тип „въздух-вода“ и принципите на процеса на размразяване.

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Роля на изпарителя

- Ролята на изпарителя е да **абсорбира топлина** от външната среда и да я пренесе в хладилния агент. Течният хладилен агент под ниско налягане навлиза в изпарителя, където кипи (изпарява се), като поема топлина от околния въздух, земята или водата.

- Тази промяна на агрегатното състояние изисква голямо количество енергия (скрита топлина), поради което серпентината на изпарителя става много студена, извличайки топлина от заобикалящата я среда.

- Хладилният агент се изпарява при постоянна температура на насищане и излиза от компонента под формата на студена пара. В режим на отопление, изпарителят обикновено се намира навън (въздушен или земен топлинен източник); в режим на охлаждане, той може да бъде разположен вътре в помещението (абсорбирайки топлина от помещението). Във всички случаи, изпарителят позволява поемането на топлина чрез понижаване на налягането и температурата на хладилния агент.

Co-funded by
the European Union

CC BY NC SA

Роля на кондензатора

- Ролята на кондензатора е да отведе топлината от хладилния агент към приемника. В режим на отопление, той пренася топлина към въздуха или водата в сградата; в режим на охлаждане, той отделя топлината в околната среда навън. Парите под високо налягане от компресора навлизат в кондензатора.

- Тъй като хладилният агент се поддържа при високо налягане (и съответно висока температура), той е по-топъл от приемника. Докато протича през серпентините или ламелите на кондензатора, той отдава топлина и кондензира в течност. Тази отделена топлина загрява въздуха или водата в отоплителната инсталация на сградата.

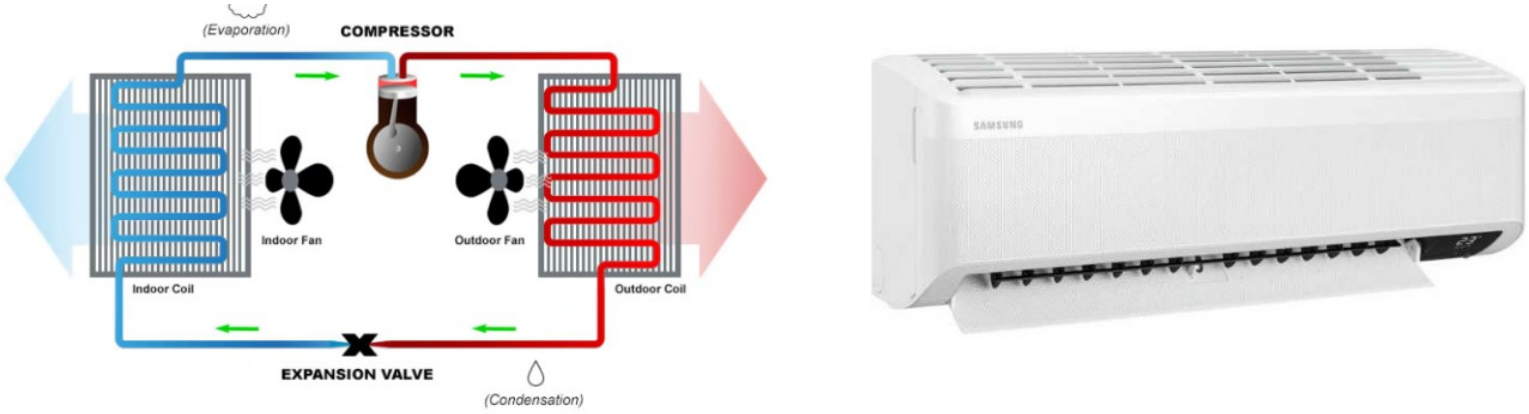
- След това кондензиралия течен хладилен агент се връща към разширителния вентил. В реверсивен режим (охлаждане) вътрешният топлообменник действа като изпарител, а външният — като кондензатор. Кондензаторът винаги работи при високо налягане, което позволява ефективно отдаване на топлината към околната среда.

Co-funded by
the European Union

CC BY NC SA

Типове кондензатори: С въздушно охлаждане

Кондензаторите с въздушно охлаждане (Фигура 5.1) използват околния въздух за абсорбиране на топлината. Те се състоят от оребрени тръби (ламелни топлообменници) и вентилатори, които движат въздушния поток през серпентината. Агрегатите с въздушно охлаждане са масово разпространени в малките търговски и битови системи, тъй като са конструктивно прости и икономически изгодни.



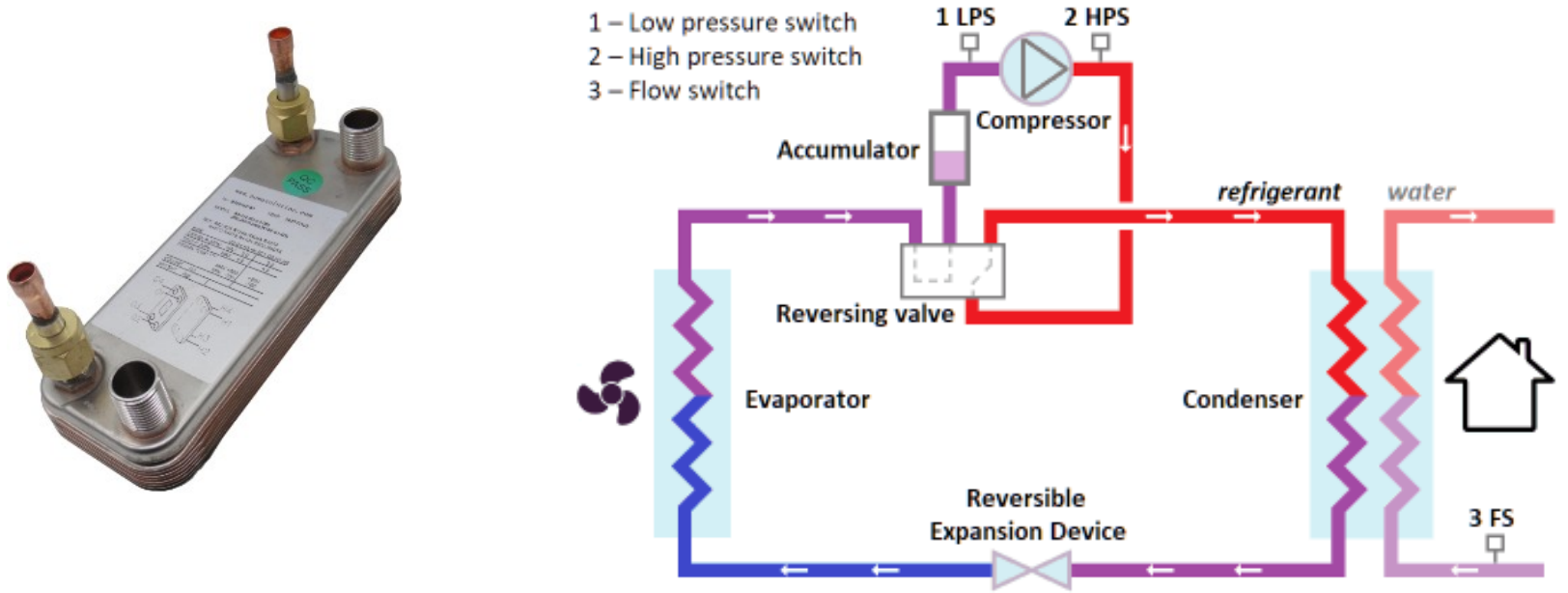
Фигура 5-1. Кондензатор на термопомпа въздух-въздух

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Типове кондензатори: С водно охлаждане

Кондензатори, охлаждани с вода или с разсол (brine) (Фигура 5-2.) пренасят топлина към течност (вода или гликолов разтвор). Могат да се използват пластинчати или кожухотръбни топлообменници, като циркулационни помпи движат течността. Кондензаторите с водно охлаждане постигат по-високи коефициенти на топлопреминаване и се използват там, където има наличен воден източник (например геотермални сонди или охладителни кули). Фигура 5-2 показва типичен пластинчат кондензатор за система „въздух-вода“. Изборът зависи от сложността на инсталацията и нуждите от енергийна ефективност.



Фигура 5-2. Пластинчат кондензатор на термопомпа въздух-вода и термопомпа земя-вода

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Дизайн на изпарителните и кондензаторните серпентини

Конструкцията на топлообменните серпентини варира в зависимост от тяхната функция. Повечето серпентини използват медни тръби с алуминиеви ламели (ребра) – медта осигурява отлична топлопроводимост, а алуминият е лек и икономически изгоден. В по-новите компактни агрегати се използват изцяло алуминиеви микроканални топлообменници, които постигат висок топлообмен в по-малко пространство. Външните изпарителни серпентини често имат хидрофилно или антискреж покритие, което улеснява оттичането на влагата и забавя образуването на лед. Вътрешните кондензаторни серпентини (при системи вода-въздух) могат да имат обработки срещу накип при работа с твърда вода. Формата и размерът също се различават: външните изпарители обикновено са по-големи (за да компенсират ниската енергийна плътност на външния въздух), докато кондензаторите са по-компактни. Фигура 5.4 показва пластинчати топлообменници на термопомпи тип „въздух-вода“ и „земя-вода“. Правилният дизайн на серпентината (геометрия, материал) е от решаващо значение за ефективния топлообмен и общата производителност на системата.



Фигура 5-3. Изпарители на термопомпи с въздушен източник



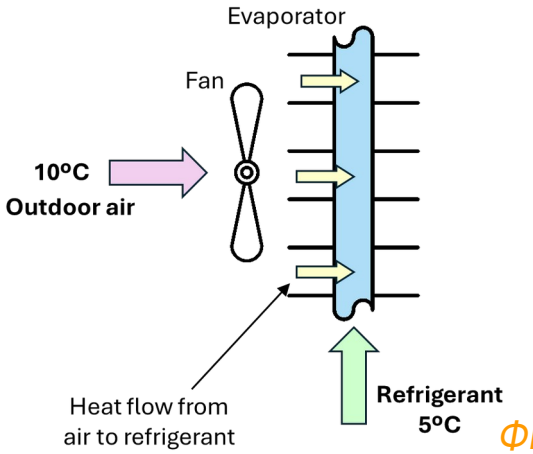
Фигура 5-4. Конфигурация на серпентините на изпарителя и кондензатора

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Образуване на скреж и размразяване при изпарители на термопомпи тип "въздух - вода" или "въздух – въздух"

В райони със студен климат, влагата в околния въздух може да замръзне върху серпентината на изпарителя. Натрупаният скреж действа като изолатор, който намалява абсорбцията на топлина и ограничава въздушния поток. Поради това термопомпите тип „въздух-вода" (или „въздух-въздух") трябва периодично да влизат в режим на размразяване, за да поддържат своята производителност. Най-честата стратегия е размразяване с горещи пари: компресорът продължава да работи, но потокът на хладилния агент се пренасочва чрез четирипътен вентил. Така горещите пари от нагнетателната страна преминават през външната (заледена) серпентина в обратна посока, топейки леда. Електрическите нагреватели се използват по-рядко за тази цел. Управлението на размразяването обикновено се задейства по времеви интервал или чрез сензори, следящи температурата на серпентината. Фигура 5.5 илюстрира топлинния поток в изпарителя; по време на размразяване този процес се обръща. Ефективните стратегии за размразяване са от съществено значение за надеждната работа на системата при ниски температури.



Фигура 5-5. Движение на топлината в изпарителя

Co-funded by
the European Union

BY NC SA

УРОК 6

Разширителни устройства

Co-funded by
the European Union

CC BY NC SA

Re-Energize

Урок 6 – Цел на обучението

В края на този урок участниците ще могат да:

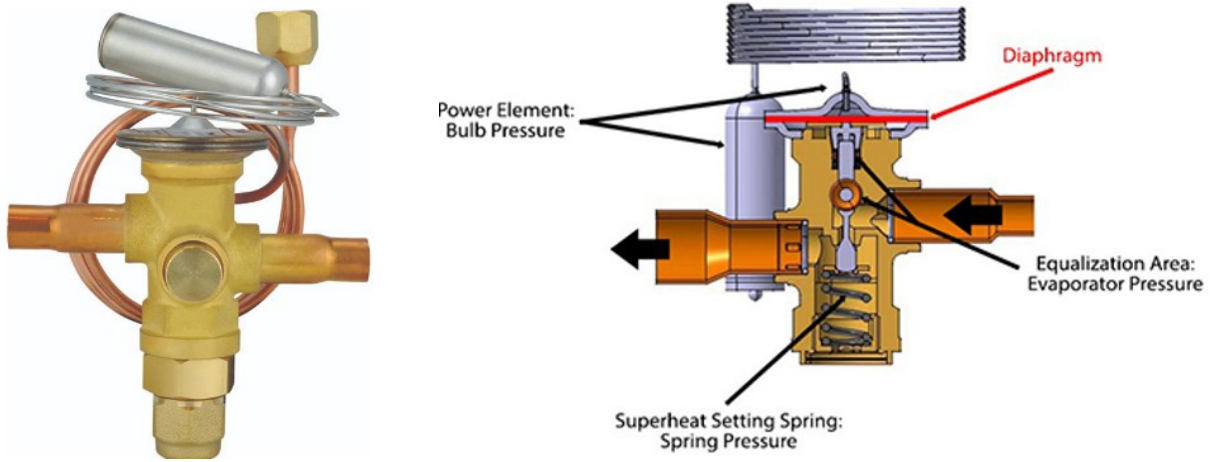
- Обяснят ролята на разширителните устройства при понижаване на налягането и регулиране на дебита на хладилния агент
- Сравняват принципите на работа на капилярни тръби, терморегулиращи вентили (TXV), електронни разширителни вентили (EEV) и автоматични разширителни вентили (AEV).
- Разберат защо прецизното управление на прегряването е критично: как то предпазва компресора от повреда и как гарантира, че системата работи с максимална мощност.

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Функции и общ преглед на разширителните устройства

Разширителното устройство служи като връзка между страната с високо налягане и страната с ниско налягане в системата. Неговата основна задача е да понижи налягането (и съответно температурата) на хладилния агент преди изпарителя, както и да дозира неговия дебит. Това създава необходимата разлика в наляганията (диференциално налягане) за функционирането на цикъла.
Простите разширителни устройства (като капилярните тръби) са с фиксирано сечение на отвора, докато термостатичните разширителни вентили (TXV) и електронните разширителни вентили (EEV) активно регулират дебита въз основа на прегряването. Чрез контролиране на потока на хладилния агент към изпарителя, тези устройства поддържат желаното ниво на прегряване– по този начин предпазват компресора от хидравличен удар и оптимизират ефективността на системата.



Фигура 6-1. Типичен монтаж на термостатичен разширителен вентил

Co-funded by
the European Union

CC BY NC SA

Разширение чрез капилярна тръба

Капилярната тръба е най-простото разширително устройство. Тя представлява дълга и тясна медна тръба (Фигура 6-2.), през която протича течният хладилен агент. Малкият диаметър създава постоянно хидравлично съпротивление, което води до фиксиран пад на налягането. Капилярните тръби са с много ниска цена, издръжливи са и нямат движещи се части. Въпреки това, тъй като проходното сечение е фиксирано и липсва управление чрез обратна връзка — те не могат да регулират дебита при променливи топлинни товари.
Дължината и вътрешният диаметър на тръбата се подбират според специфичното количество хладилен агент (заряд) и работните условия; промяната в работните параметри (например температурата на околната среда) може да доведе до влошена работа на системата. Капилярните тръби се използват обикновено в малки, опростени системи (като битови хладилници или малки климатици), където топлин



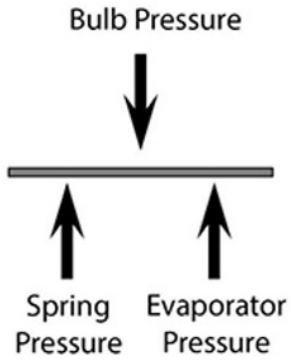
Фигура 6-2. Разширително устройство с капилярна тръба

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Термостатичен разширителен вентил (TXV)

TXV е активно, саморегулиращо се устройство. Той отчита температурата на изхода на изпарителя (чрез изнесен осезател или т.нар. „термобалон“) и модулира дебита, за да поддържа почти постоянно прегряване. В корпуса на вентила (Фигура 6.1), върху гъвкава мембрана действат три сили (налягания): налягането от осезателя (пропорционално на температурата на изхода), налягането на регулиращата пружина (фабрично или ръчно зададено) и налягането на засмукване от изпарителя. Ако температурата на изхода е твърде ниска (ниско прегряване), налягането в осезателя се понижава и вентилът се затваря; ако изходът се загрее (високо прегряване), налягането в осезателя се повишава, преодолява съпротивлението и отваря вентила повече. Тази обратна връзка поддържа изпарителя при оптимално прегряване дори при променлив топлинен товар.
Термостатичните разширителни вентили намират широко приложение в хладилната и термопомпената техника. Фигура 6.3 илюстрира баланса на силите върху мембраната на TXV. Чрез поддържане на правилно прегряване, тези вентили предпазват компресора и подобряват стабилността на системата.



Фигура 6-3. Сили, действащи върху диафрагма на TXV

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Електронен разширителен вентил (EEV)

EEV са вентили, задвижвани от двигател и управлявани от електронен контролер. Те позволяват бързо и прецизно регулиране на дебита на хладилния агент. В сравнение с термостатичните вентили (TXV), EEV предлагат по-бърза реакция и по-широк работен диапазон. Те са особено ефективни в съвременните термопомпи с инверторно задвижване: контролерът може активно да настройва дебита спрямо променливите обороти на компресора.

Конструкцията на EEV включва стъпков или сервомотор, контролер и набор от сензори (Фигура 6.4.). По време на работа, управляващата платка регулира степента на отваряне на вентила въз основа на прегряването или други системни параметри. Резултатът е по-прецизен контрол на прегряването и повишена ефективност при частични натоварвания. По същество EEV изпълнява същата функция като TXV, но чрез програмируемо електронно управление.



Фигура 6-4. Електронни разширителни вентили за битови термопомпи

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Автоматичен разширителен вентил (AEV)

Автоматичният разширителен вентил (AEV) е механичен клапан с по-проста конструкция , който регулира дебита единствено на базата на налягането. Той няма външна сензорна капсула. Вместо това, вентилът коригира степента си на отваряне според налягането в изпарителя: когато налягането в изпарителя се повиши, вентилът леко се затваря, за да поддържа налягането (и съответно температурата на изпарение) стабилно.

AEV поддържат сравнително постоянно налягане в изпарителя (и прегряване) автоматично. Те работят най-добре в системи с почти постоянен топлинен товар, като фиксирани хладилни инсталации или индустриални чилъри.

Автоматичните разширителни вентили са по-малко подходящи за системи с големи колебания в натоварването (като типичните HVAC системи), но все още се срещат в някои търговски хладилници и фризери. Фигура 6.5. показва типичен автоматичен разширителен вентил.



Фигура 6-5. Автоматичен разширителен вентил

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

УРОК 7

Допълнителни компоненти на хладилния кръг

Co-funded by
the European Union

CC BY NC SA

Re-Energize

Урок 7 – Цел на обучението

В края на този урок участниците ще могат да:

- Обяснят функцията на спомагателните хладилни компоненти като четирипътни реверсивни вентили, соленоидни вентили, възвратни клапани и филтър-изсушители.
- Опишат ролята на маслоотделителите и течните ресивери за поддържане на надеждността и производителността на системата.
- Интерпретират експлоатационното значение на индикаторните стъкла и индикаторите за влага при диагностиката и техническото обслужване.

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

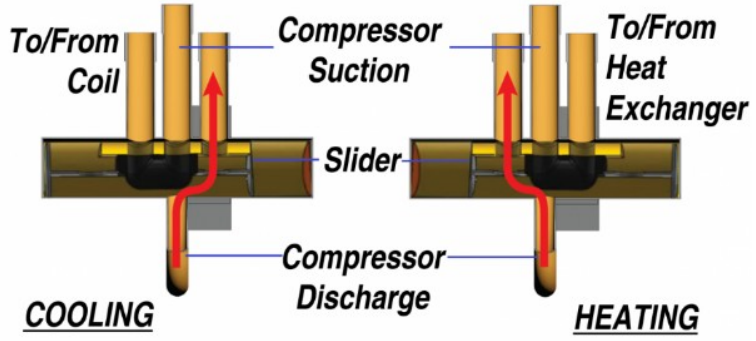
Re-Energize

Четирипътен реверсивен вентил (Отопление ⇔ Охлаждане)

Четирипътният реверсивен вентил е ключовият компонент, който позволява на термопомпата да превключва между режимите на отопление и охлаждане. Той насочва потока на хладилния агент, така че вътрешният и външният топлообменник да разменят ролите си.

Конструктивно, той има четири отвора (към компресора, вътрешната серпентина, външната серпентина и към смукателната линия) и вътрешен плъзгащ се елемент (виж Фигура 7-1.). Когато соленоидната бобина се задейства (или изключи), плъзгачът се премества, обръщайки цикъла. В режим на отопление, външната серпентина се превръща в изпарител (абсорбирайки външна топлина), а вътрешната – в кондензатор. В режим на охлаждане ролите са разменени.

Макар и от съществено значение, реверсивният вентил внася известен пад на налягането и съществува риск от вътрешни течове. Новите конструкции на вентили имат за цел да минимизират тези загуби (потенциално подобрявайки COP с до 60% само чрез намаляване на пада на налягането).



Фигура 7-1. Четирипътен реверсивен вентил

Co-funded by
the European Union

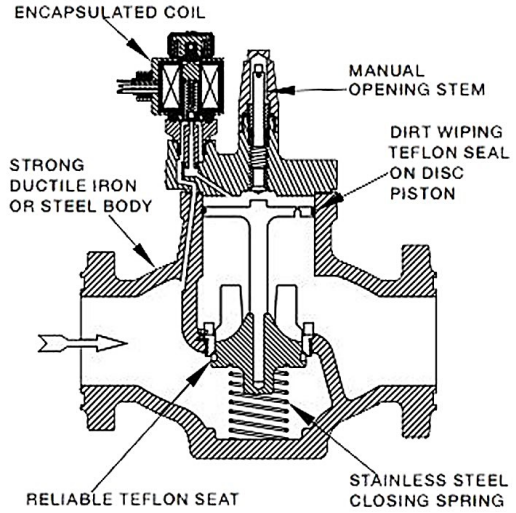
CC BY NC SA

Соленоидни вентили

Соленоидните вентили използват електромагнитно задействане, за отваряне или затваряне на пътя на хладилния агент. Соленоидът с директно задействане съдържа плунжер (котва), който се привлича от бобина (Фигура 7.2.), докато соленоидът с индиректно (пилотно) задействане използва малък управляващ дебит, за да контролира основния вентил (което позволява управление на дебити с високо налягане).

Тези вентили служат за множество цели: те могат да изолират хладилния агент (за процеси на изпомпване или сервизно обслужване), да управляват размразяването чрез насочване на горещи пари или да преустановяват потока на хладилния агент при повреда. Например, при цикъл на размразяване контролерът може да подаде напрежение към соленоида, за да изпрати горещи пари от нагнетателната линия на компресора директно към външния топлообменник.

Соленоидните вентили са от критично значение за автоматизираното управление и безопасността. Фигура 7.2. показва вътрешната конструкция на типичен хладилен соленоиден вентил. Съвременните термопомпи често включв за изпълнение на тези функции.



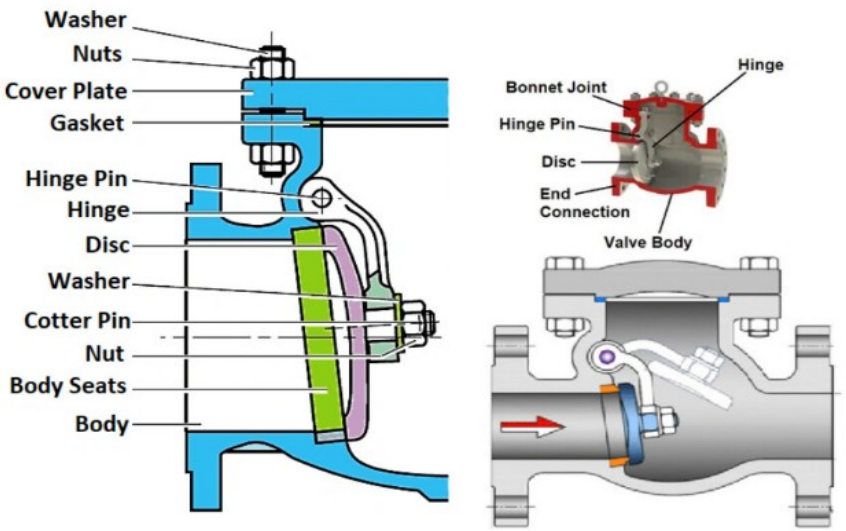
Фигура 7-2. Разрез на соленоиден вентил

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Възвратни клапани

Възвратните клапани позволяват на потока да се движи само в една посока, предотвратявайки неговото обръщане (обратен поток). Те се инсталират в хладилния контур (или в маслените линии), за да осигурят еднопосочно движение на флуида.
Основните типове включват: сферични възвратни клапани (използват сачма с пружина, която уплътнява при поява на противоналягане); възвратни клапани с клапа (използват диск на шарнир) и бутални възвратни клапани (използват направлявано бутало, което извършва уплътняването). Фигура 7-3. илюстрира вътрешното устройство на типичен възвратен клапан
Възвратните клапани се използват например за гарантиране на връщането на маслото в картера на компресора и за предотвратяване на обратния поток на хладилен агент по време на престой. Монтажът изисква правилна ориентация спрямо посоката на потока и наличие на достатъчно дълги прави участъци от тръбната мрежа преди и след клапана за неговото правилно функциониране. Системите с високо налягане (като транскритичн сертифицирани възвратни клапани, проектирани да изд



Фигура 7-3.

ътрешно устройство на възвратен клапан

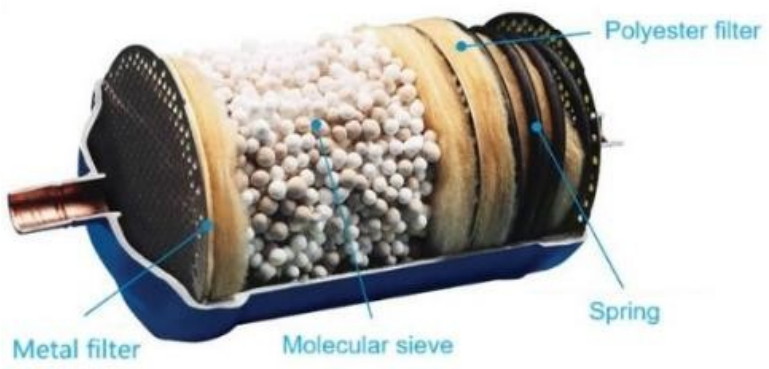
Co-funded by the European Union
CC BY NC SA

Филтър-изсушители

Филтър-изсушителите премахват влагата, киселините и твърдите частици от хладилния агент. Те се състоят от стоманен корпус, пълен с изсушител (десикант - обикновено молекулно сито и активен алуминиев оксид) и мрежести филтри. Докато хладилният агент преминава през филтъра, водната пара и киселините се адсорбират химически, а твърдите частици се улавят механично. Отстраняването на замърсителите е от критично значение: влагата може да замръзне или да причини корозия, а механичните примеси могат да запушат разширителните вентили.

Стандартните филтър-изсушители се монтират на течната линия между кондензатора и разширителния вентил. При термопомпите (с реверсивен поток) се използват двупосочни (bi-flow) филтър-изсушители (Фигура 7.4.); те имат десикантни легла в двата си края, така че хладилният агент може да протича и в двете посоки. Фигура 7.4. показва напречен разрез на двупосочен изсушител.

Правилното оразмеряване е от съществено значение: филтър с недостатъчен капацитет причинява голям пад на налягането и влошава производителността на системата.



Фигура 7-4. Напречно сечение

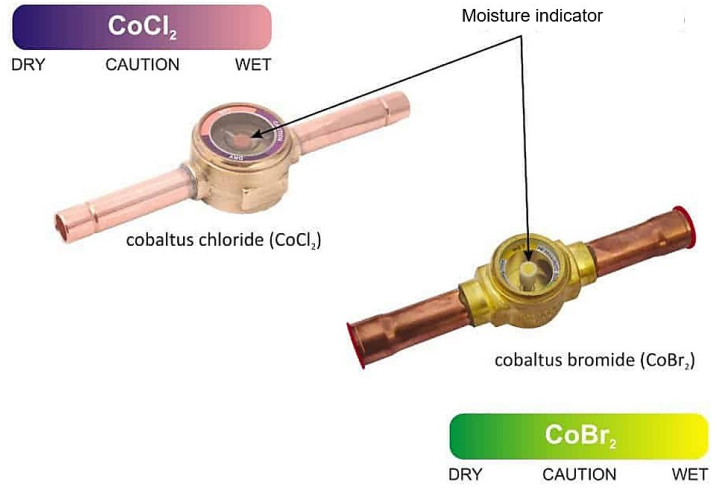
а двупосочен филтър-изсушител

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Индикаторни стъкла

Индикаторните стъкла осигуряват визуална представа за състоянието на хладилния агент в течната линия. Те позволяват на техниците да потвърдят правилното количество (заряд) на хладилния агент и неговата „сухота“ (отсъствие на влага). При наблюдение, наличието на мехурчета показва наличие на пари (недостатъчен заряд или кипене на фреона); бистрата течност показва пълен заряд.
Много индикаторни стъкла включват и индикатор за влага (цветен диск), който променя цвета си (например от зелен на жълт), ако в системата има вода. Фигура 7.5. показва типично индикаторно стъкло с влагочувствителен елемент.
Индикаторните стъкла са особено полезни по време на зареждане или сервизно обслужване: мехурчетата сигнализират за недостиг на хладилен агент, а предупреждението за влага показва насищане на филтър-изсушителя или наличие на течове. В контурите на термопомпите индикаторните стъкла се поставят след филтър-изсушителя и преди разширителното устройство (в зоната на преохладената течност) ...ират и датчици за поток със сензори за интелигентен монитори



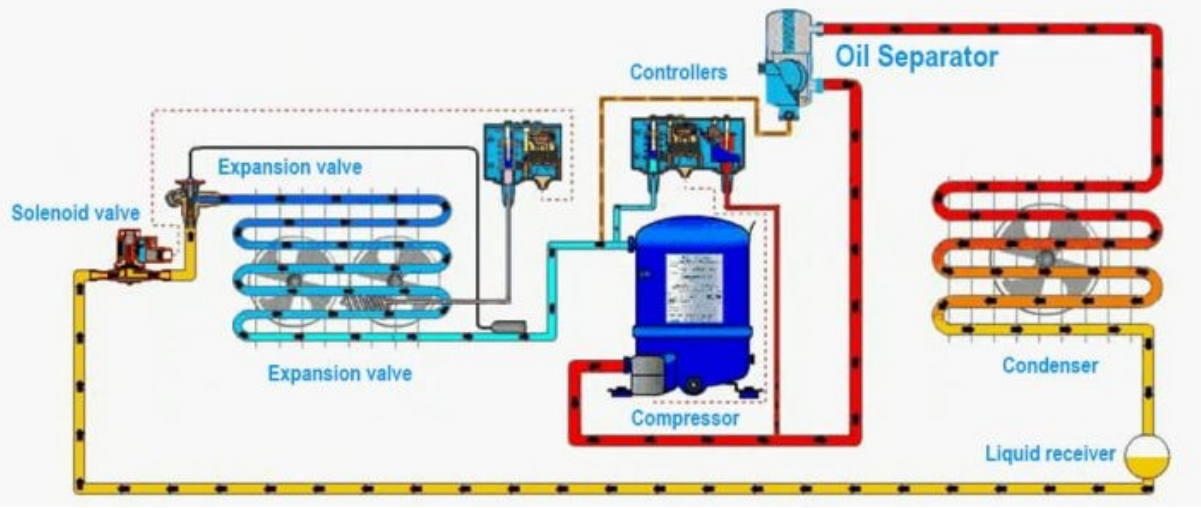
Фигура 7-5. Индикаторни стъкла

Co-funded by the European Union
CC BY NC SA

Маслоотделители

Маслоотделителите се монтират на нагнетателната линия след компресора, за да отделят увлеченото масло от парите на хладилния агент. Те използват центробежни или хеликоидални (винтови) механизми: газовият поток навлиза в съда с висока скорост и се завърта (Фигура 7.6.), принуждавайки капките масло да се изхвърлят навън и да се събират по стените. Отделеното масло се акумулира на дъното, откъдето поплавък или възвратен клапан го връща обратно в картера на компресора. Това гарантира адекватна циркулация на маслото и предотвратява натрупването му в изпарителя (което би влошило топлообмена).

Маслоотделителите са особено важни в системи с множество компресори; те могат да бъдат комбинирани с маслени резервоари (ресивери) и регулатори за балансиране на нивото на маслото между отделните компресори. Съвременните маслоотделители са проектирани за работа под високо налягане (за флуиди като R410A, R744) и често включват сензори за мониторинг на нивото на маслото.



Фигура 7-6.

Схема на маслоотделител

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Течни ресивери

Течните ресивери са резервоари, разположени на линията за високо налягане (след кондензатора). Тяхната роля е да осигурят постоянен приток на течен хладилен агент без мехурчета към разширителното устройство. По време на работа при ниско натоварване, излишната течност може да се натрупва в ресивера; при голямо натоварване той освобождава съхранената течност, за да поддържа необходимия дебит. Това предотвратява недостига на течност в изпарителя и опасността от хидравличен удар в компресора.

Ресиверите се предлагат във вертикални или хоризонтални изпълнения (Фигура 7.7.) и се оразмеряват според очакваните колебания в обема на хладилния агент. Много ресивери включват индикаторно стъкло и сервизни вентили за улесняване на зареждането. Правилното оразмеряване на ресивера е от критично значение: ако е твърде малък, той може да остане празен („да пресъхне“); ако е твърде голям, това за.



Фигура 7-7. Различни типове течни ресивери

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

УРОК 8

Спомагателни компоненти и хидравлична интеграция

Co-funded by
the European Union

BY NC SA

Re-Energize

Урок 8 – Цел на обучението

В края на този урок участниците ще могат да:

- Обяснят ролята на вентилаторите и циркулационните помпи за топлообмена и цялостната енергийна ефективност на системата.
- Опишат функциите на датчиците за дебит, разширителните съдове и буферните съдове за осигуряване на безопасна и стабилна работа.
- Анализират значението на хидравличната интеграция и интелигентните стратегии за управление в съвременните термопомпени системи.

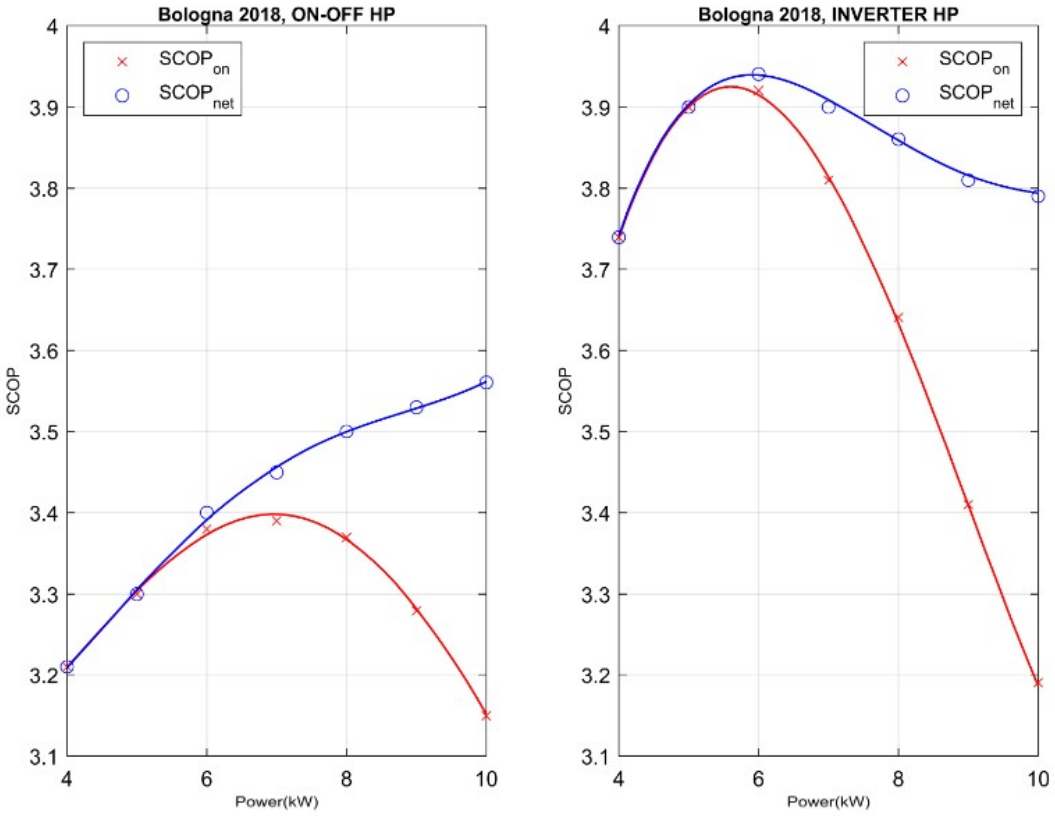
Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Re-Energize

Вентилатори при термопомпи с топлинен източник въздух

- Вентилаторите се използват за придвижване на въздушния поток през външния и вътрешния топлообменник при термопомпите „въздух-въздух“ и „въздух-вода“. Съвременните системи все по-често използват EC (електронно комутирани) вентилатори с променлива скорост. Чрез регулиране на оборотите на вентилатора системата може ефективно да отговори на променящите се топлинни натоварвания.
- Фигура 8.1. сравнява сезонния коефициент на преобразуване (SCOP) на термопомпа с фиксирана скорост спрямо инверторна термопомпа, показвайки до 10% по-висока ефективност при инверторното управление (особено при конфигурации с променлив дебит на гликоловия разтвор или водата).
- Използват се два основни типа вентилатори: аксиални вентилатори, които придвижват големи обеми въздух при ниско налягане (обикновено се използват във външните тела) и центробежни вентилатори, които генерират по-високо налягане (използват се там, където са необходими въздуховоди или има високо статично налягане).
- Правилното управление на вентилатора (например плавното увеличаване или намаляване на скоростта) също помага за минимизиране на обледеняването на изпарителя, като се избягват ненужно ниски температури на повърхността на топлообменника.



Фигура 8-1. Сравнение на SCOP при термопомпи тип „on-off“ (с фиксирани обороти) спрямо инверторни термопомпи.

Co-funded by the European Union

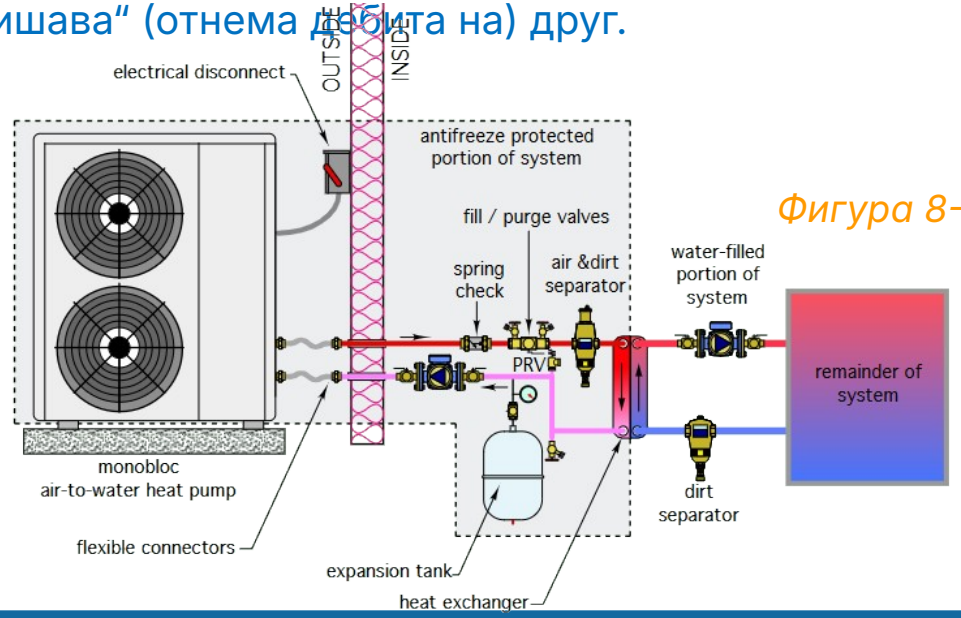
CC BY NC SA

Циркулационни помпи и хидравлична интеграция

Циркулационните помпи придвижват топлоносителя (вода или гликолов разтвор) между термопомпата и разпределителната система на сградата (радиатори, подово отопление и др.). Стандарт в индустрията са ECM помпите с променлива скорост (електронно комутирани мотори); те регулират дебита в зависимост от потреблението (по диференциално налягане или температура). Тези помпи намаляват консумацията на енергия, като забавят оборотите си при ниски натоварвания.

Фигура 8.2. показва типична хидравлична схема на термопомпа „въздух-вода“: тя включва основна помпа, хидравлични разделители и защитни компоненти (датчик за дебит, възвратен клапан). Правилното разположение на помпата е от съществено значение: например помпите трябва да бъдат разположени така, че да предотвратяват нежелан хидравличен байпас (напр. изпомпване през буферен съд, вместо директно през отоплителните кръгове).

В по-големи системи или такива с множество кръгове се използват схеми с първично/вторично помпене или множество по-малки помпи. Това гарантира стабилен дебит и предотвратява ситуация, в която един отоплителен кръг „лишава“ (отнема дебита на) друг.



Фигура 8-2. Схема на хидравличния контур с помпа и защитни компоненти.

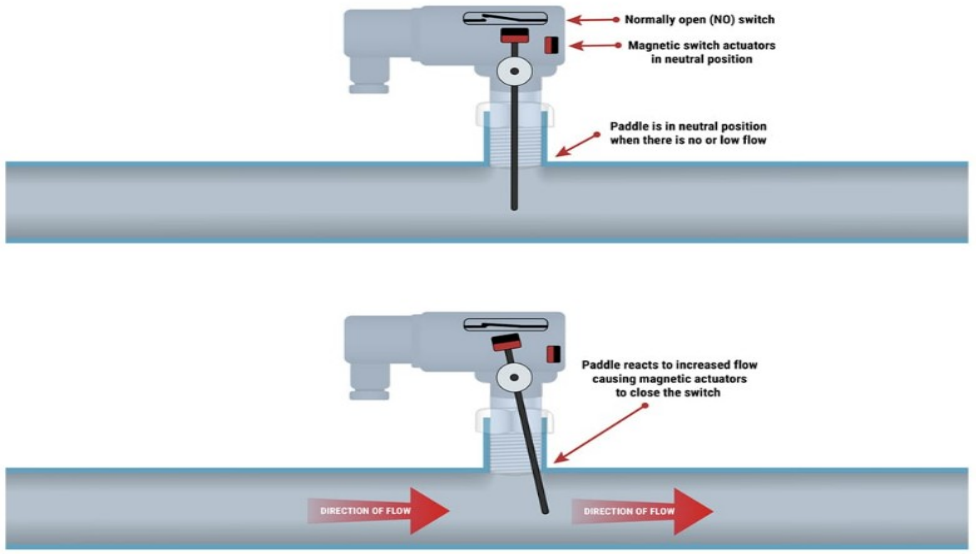
Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Датчици за дебит и защитни устройства

Датчиците (релетата) за дебит гарантират наличието на достатъчен поток на флуида, преди да се включи компресорът или вентилаторът. Често срещана конструкция е лопатковият тип (Фигура 8.3.), който се задейства при наличие на воден поток. Ако дебитът падне под определен праг (например при спряла помпа или запушване), датчикът изпраща сигнал към контролера за изключване на агрегата. Това предпазва топлообменниците от замръзване и компресорите от повреда.

Други свързани защитни устройства включват предпазни клапани по налягане, пресостати за високо/ниско налягане и сензори против замръзване. Съвременните системи могат да използват електронни сензори за дебит за по-точно наблюдение. Всички тези устройства могат да бъдат интегрирани в системата за управление с цел откриване на неизправности. Например, един електронен сензор може да открие съвсем леки намаления в дебита и да позволи извършването на превантивна поддръжка. Техническите стандарти (напр. EN 378) изискват наличието на такива защитни органи. Правилното интегриране на датчиците за дебит и налягане в логиката на управление е от решаващо значение за надеждната и безопасна експлоатация.



Фигура 8-3.

Принцип на действие на лопатков датчик за поток

Co-funded by the European Union

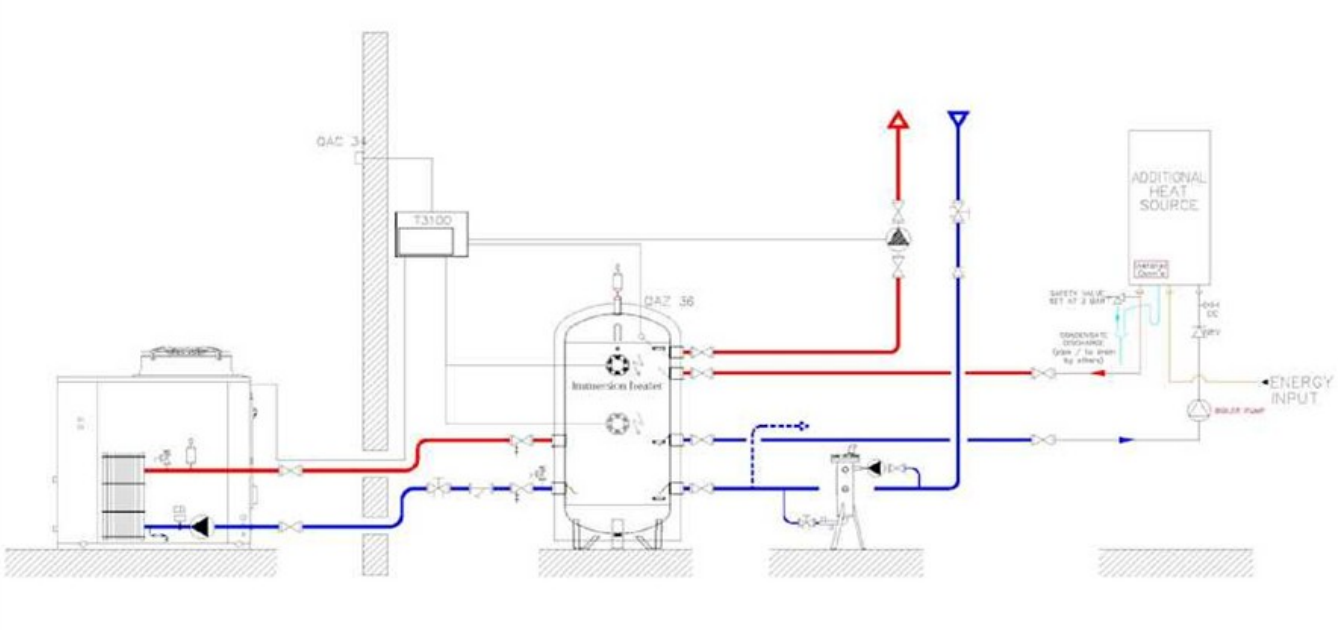
CC BY NC SA

Разширителни и буферни съдове

Разширителните съдове (съдове под налягане с въздушна мембрана) поемат топлинното разширение на водата в затворените контури. Когато водата се нагрява, тя увеличава обема си; без разширителен съд налягането би се повишило до опасни нива. Въздушната възглавница в съда абсорбира тази промяна в обема, поддържайки стабилно налягане в системата.

Буферните (инерционни) съдове служат за хидравлично разделение на термопомпата от разпределителната система. Чрез увеличаване на общия обем на водата, те изглаждат температурните колебания и предотвратяват честото включване и изключване на компресора. Например, малка термопомпа с променливо натоварване може да влезе в режим на „тактуване“ без буферен съд. Съдът осигурява резерв от топла вода, поддържайки потока, когато потреблението спадне. Правилното оразмеряване е от съществено значение: твърде малкият съд няма ефект, а твърде големият увеличава разходите и забавя реакцията на системата.

Фигура 8.4. показва примерна схема с буферен съд и допълнителен (спомагателен) котел.



Фигура 8-4. Схема на системата с буферен съд и котел

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Съвременна интеграция и тенденции

В съвременните инсталации, много от тези хидравлични компоненти се доставят предварително сглобени в компактни модули (комбиниращи функциите на разширителен и буферен съд, фабрично монтирана арматура и др.) за бърз монтаж.

Цифровото управление обхваща все повече помпите и вентилите: например оборотите на помпата и данните от релетата за дебит могат да се предават чрез системи за сградна автоматизация (BMS).

Общата тенденция е към по-интелигентно управление (оптимизиране на дебитите, реакция според потреблението, превентивна поддръжка) и по-тясна интеграция на защитните устройства за постигане на по-висок SCOP и надеждност.

С развитието на термопомпените технологии, вентилаторите, помпите, сензорите и съдовете вече се разглеждат като неразделна част от една интелигентна ОВК система, а не просто като пасивни компоненти..

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Референции

- **European Committee for Standardization**. (2017). *EN 12831-1: Energy performance of buildings – Method for calculation of the design heat load*. Brussels.
- **International Organization for Standardization**. (2017). *ISO 52016-1: Energy performance of buildings – Energy needs for heating and cooling*. Geneva.
- **European Commission**. (2018). *Directive (EU) 2018/844 amending the EPBD*. Brussels.
- **European Commission**. (2020). *Renovation Wave Strategy for Europe*. COM(2020) 662 final.
- **IEA**. (2022). *Heat Pumps – Tracking Clean Energy Progress*. Paris.
- **IEA**. (2023). *The Future of Heat Pumps*. Paris.
- **EHPA**. (2022). *Heat Pumps in Buildings – Applications, Efficiency and System Integration*. Brussels.
- **EHPA**. (2023). *Best Practice Guide: Heat Pump Retrofit in Residential Buildings*. Brussels.
- **REHVA**. (2012). *Guidebook No. 7 – Low Temperature Heating and High Temperature Cooling*. Brussels.
- **REHVA**. (2018). *Guidebook No. 23 – Renovation of Buildings with HVAC Systems*. Brussels.
- **Fraunhofer ISE**. (2020). *Heat Pump Systems in Existing Buildings – Performance and Design Strategies*. Freiburg.
- **Fraunhofer ISE**. (2022). *Monitoring Results of Heat Pump Retrofits in Europe*. Freiburg.
- **ASHRAE**. (2020). *ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment*. Atlanta.
- **ASHRAE**. (2021). *ASHRAE Handbook – Fundamentals*. Atlanta.
- Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J. E., Hvelplund, F., & Mathiesen, B. V. (2014). *4th Generation District Heating*. **Energy**, 68, 1–11.
- Buffa, S., Cozzini, M., D'Antoni, M., Baratieri, M., & Fedrizzi, R. (2019). *5th generation district heating and cooling systems*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 104, 504–522.
- Brandl, D., Mach, T., Karmann, C., & Struck, C. (2016). *Evaluating thermal comfort and energy performance of radiant heating and cooling systems*. **Energy and Buildings**, 109, 351–363.
- European Union. (2019). *EU Guidelines for Nearly Zero-Energy Buildings (nZEB)*. Publications Office of the EU.
- **IDAE**. (2023). *Guía Técnica de Bombas de Calor en Rehabilitación de Edificios*. Madrid.
- Hepbasli, A., & Kalinci, Y. (2009). *A review of heat pump water heating systems*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 13(6–7), 1211–1229.

Co-funded by the European Union

CC BY NC SA

Re-Energize