



Модул 2

Развитие на пазара на термопомпи

Разработено от LEI (Литовски енергиен институт)



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 2 Преглед



Този модул разглежда актуалното развитие на пазара на термопомпена технология, като обяснява как промените при хладилните агенти, проектирането на термодинамичните цикли и иновациите в компонентите оформят днешните търговски и битови системи. В него се очертава как производителите интегрират усъвършенствани компресионни схеми, естествени хладилни агенти и високо ефективни топлообменници, за да отговорят на все по строгите екологични изисквания и изисквания за производителност.

Модул 2 Съдържание

Урок 9	Стандартен компресионен цикъл		
Урок 10	Цикъл с впръскване на пара		
Урок 11	Каскадни термопомпени системи		
Урок 12	Транскритични CO ₂ системи		
Урок 13	Естествени хладилни агенти в битови системи		



Co-funded by
the European Union



УРОК 9

Стандартен компресионен цикъл



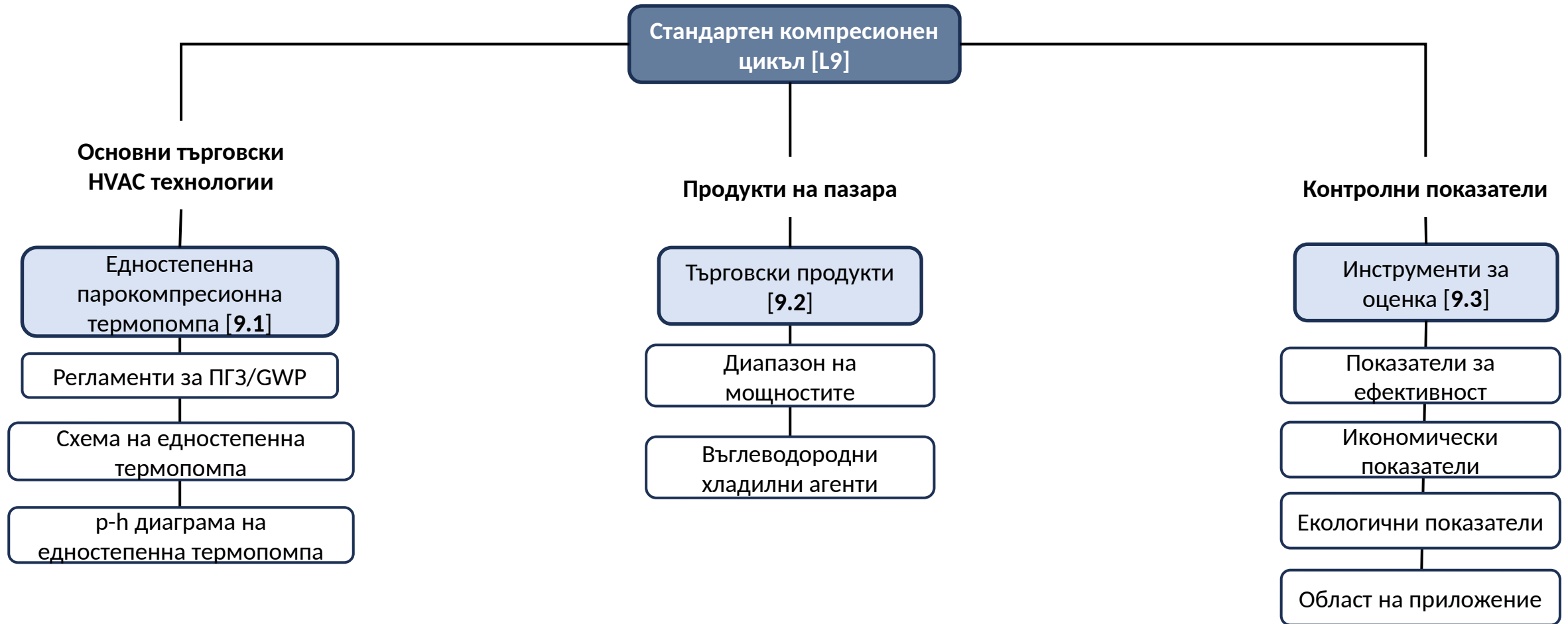
Co-funded by
the European Union



Урок 9 Цели

1. Представяне на едностепенния парокомпресионен цикъл
2. Обзор на типични търговски термopомпени агрегати, използващи този цикъл
3. Основни показатели, характеризиращи работния процес на термopомпата, и въздействията върху обитаваната среда

Урок 9 Съдържание



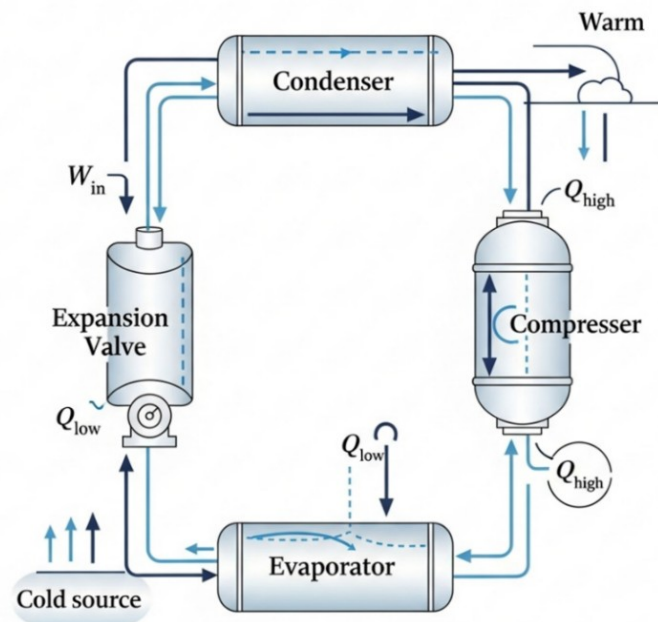
9.1 Въведение

- Основна търговска HVAC технология: едностепенна парокомпресионна термопомпа – активна основа в продължение на десетилетия
- Фокус върху намаляването на ПГЗ (GWP) и повишаването на ефективността на термопомпените агрегати / нарастващо внедряване на хладилни агенти с нисък ПГП, като R32 и R454B
- Разширяване на пазара за модулни търговски термопомпи с мощности до и над 1 MW

Търговските едностепенни термопомпи работят осъществяват парокомпресионен цикъл, състоящ се от четири основни компонента:

- изпарител,
- компресор,
- кондензатор и
- TRV (терморегулиращ вентил / разширителен вентил).

9.1 Въведение



Технологична схема на процеса

- **Изпарител:**

Течният хладилен агент се изпарява при ниско налягане ($\sim 3\text{--}5\text{ bar}$), отнемайки топлина от източници като въздух или почва

- **Компресор:**

Спирален компресор сгъстява парите, повишавайки налягането (до 20 bar) и температурата

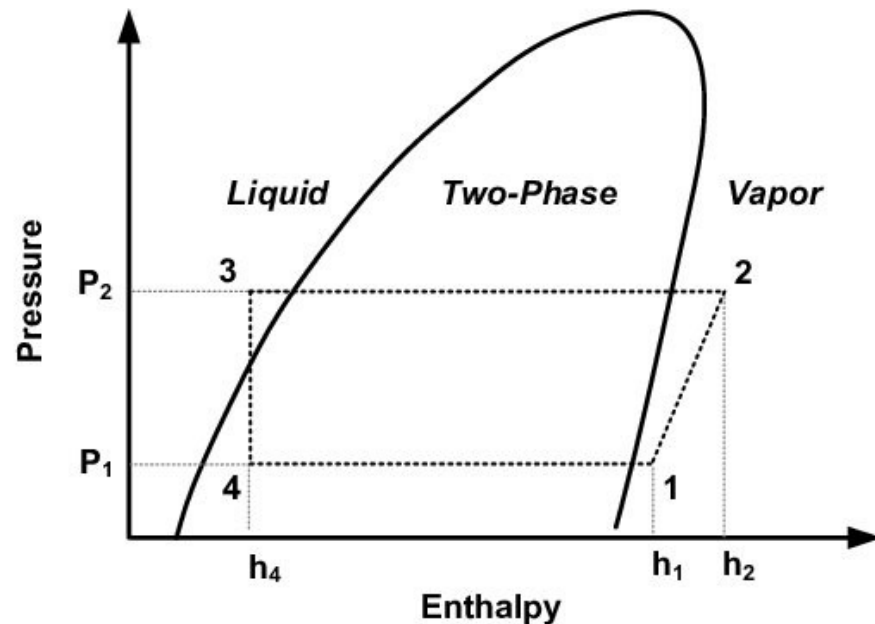
- **Кондензатор:**

Парите с високо налягане кондензират, предавайки топлина към водната инсталация или към отоплителния кръг за отопление на помещения при $40\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$

- **ТРВ (Разширителен вентил):**

Налягането спада рязко и хладилният агент се охлажда, преди отново да влезе в изпарителя

9.1 Въведение



P-h диаграма

- **Сгъстяване** (1→2): Изоентропийно идеално сгъстяване; действителната работа превишава идеалната поради необратимости (загуби)
- **Кондензация** (2→3): Изобарно отдаване на топлина
- **Дроселиране** (3→4): Изоенталпийно дроселиране
- **Изпарение** (4→1): Начало на поглъщане на топлина

9.2 Търговски термопомпени продукти

Пазар

- Европейски мащаб: мощности от 1 до 500 kW на агрегат
- Водещите европейски производители Danfoss, Ochsner и Bosch предлагат продукти, проектирани за хладилни агенти R32 и R454B
- Mitsubishi Electric и Daikin (Япония) наблягат на усъвършенствани инверторни компресорни системи с регулируема честота на въртене, прогностична поддръжка с изкуствен интелект (AI) и системно управление на енергията, подходящи както за търговски сгради, така и за приложения в топлофикационни мрежи
- LG Electronics (Южна Корея) интегрира интелигентно управление в едностепенния цикъл, с акцент върху адаптивността към градската инфраструктура и възобновяемите източници на енергия
- Цел – използване на хладилни агенти с по-нисък ПГЗ (GWP) и поддържане на високи стойности на COP

9.2 Търговски термопомпени продукти

Обобщение

Производител (Регион)	Диапазон на мощността (kW)	Хладилен агент	Макс. работна темп. (°C)	Диапазон на COP	Ключови иновации
Danfoss (Европа)	5 – 240	R32, R454B	90	3.5 – 5.0	Усъвършенствани спирални компресори с инжекция на пари за студен климат
Ochsner (Европа)	30 – 350	R290, R32	80	4.0 – 5.2	Фокус върху естествени хладилни агенти и модулни продукти
Bosch Thermotechnik (Европа)	20 – 500	R32	75	3.6 – 4.8	Интегрирано управление и хибридни системи
Mitsubishi Electric (Япония)	10 – 300	R32, R410A	75	3.6 – 5.1	Високоэффективни инверторни спирални компресори, усъвършенствани алгоритми за размразяване
Daikin (Япония)	20 – 450	R32, R410A	85	3.8 – 5.3	Мултисплит опции, системи за управление с AI за енергийна ефективност
LG Electronics (Южна Корея)	10 – 300	R32, R410A	75	3.5 – 5.0	Интелигентно IoT управление с променлив дебит на хладилния агент и съвместимост с топлофикационни мрежи



Co-funded by
the European Union



9.3 Показатели за ефективност (I)

Показатели за ефективност	
<i>Коефициент на трансформация(COP)</i>	COP изразява моменталното съотношение между използваемата топлинна мощност и консумираната електрическа мощност при определени условия. Внимателно изследваните европейски търговски системи показват стойности на COP от 3.5 до 5.2 при стандартни референтни точки (A7/W35). По-ниските външни температури намаляват COP поради увеличената работа на компресора и по-ниската скорост на отнемане на топлина.
<i>Сезонен коефициент на трансформация (SPF)</i>	SPF дава средна стойност на ефективността за целия отоплителен сезон, като отчита преходни процеси като работа при частичен товар и цикли на размразяване. Европейски проучвания в реални експлоатационни условия отчитат стойности на SPF от 3.2 до 4.8 в зависимост от климата и конструкцията на системата.
<i>Интегриран коефициент на хладилна ефективност (IEER)</i>	Приложим за режими с преобладаващо охлаждане, IEER осреднява EER при различни нива на частичен товар, за да приближи праволинейно реалната ефективност. Стойностите на IEER за съвременните агрегати са между 12 и 18.

9.3 Показатели за ефективност (I)

Икономически показатели	
Обикновен срок на откупуване (SPP)	Изчислява се като съотношение между допълнителните инвестиционни разходи и годишните спестявания от разходи за енергия. Търговските термопомпи в Европа обикновено имат срок на откупуване от 3 до 5 години при замяна на котли на изкопаеми горива, което отразява намаляващите капитални разходи и нарастващите цени на горивата.
Нормирана цена на топлината (LCON)	LCON включва капиталните разходи, поддръжката, експлоатационните разходи и цените на енергията за целия експлоатационен срок на системата, нормирани спрямо произведената топлинна енергия. Търговските инсталации в ЕС отчитат LCON между 0.04 и 0.07 EUR/kWh.

9.3 Показатели за ефективност (I)

Екологични показатели за ефективност	
Относителен еквивалентен въздействащ потенциал върху затоплянето (TEWI)	TEWI обединява преките емисии от хладилен агент, индиректните емисии от консумация на електроенергия и загубите на хладилен агент в края на експлоатационния срок за целия жизнен цикъл. За типична термопомпа с мощност 200 kW с хладилен агент R32 и 2% пропуск, TEWI е приблизително 0.45–0.6 t CO ₂ -eq/kW-година, с преобладаващ дял на индиректните емисии.
Потенциал за глобално затопляне (ПГЗ / GWP)	Преходът от R410A (ПГЗ 2088) към хладилни агенти с нисък ПГЗ като R32 (ПГЗ 675) и R454B (ПГЗ 466) значително намалява преките емисии, което е важен фактор за съответствие с регулаторните изисквания и за пазарното приемане.
Коефициент на първична енергия (PER)	PER оценява енергийната ефективност спрямо консумацията на първична енергия, отчитайки загубите в електроенергийната мрежа. При среден коефициент за първична енергия на европейската мрежа от ~2.5, търговските термопомпи постигат стойности на PER от 1.5 до 2.0, което показва съществени спестявания на първична енергия.



Co-funded by
the European Union



9.3 Област на приложение (II)

Област на приложение							
Офис и търговски сгради	Типичните мощности са в диапазона 50–350 kW - системи, проектирани за работа въздух-вода, осигуряващи топлина за отопление и БГВ (битова гореща вода). Модулността и инверторната компресорна технология позволяват адаптиране към променливи товари и поетапно разширение.						
Леки промишлени процеси	Термопомпите осигуряват ниско- до среднотемпературно технологично отопление (до 85–95 °C), заменяйки котли на изкопаеми горива и генерирайки енергийни спестявания до 50%–70% със съответното намаляване на емисиите.						
Топлофикационни мрежи	Големи модулни термопомпи с мощности над 500 kW се интегрират в топлофикационни мрежи, осигурявайки базова възобновяема топлина. Актуални пилотни проекти в реални експлоатационни условия в Европа подчертават интеграцията с гъвкавост на мрежата и сезонно съхранение.						
	Application	Capacity Range (kW)	COP Range	SPF Range	GWP Refrigerant	Max Temp (°C)	Typical Payback (years)
	Office Buildings	50–350	3.8–4.5	3.5–4.2	R32, R454B	60	3–5
	Light Industry	100–500	3.5–4.8	3.2–4.5	R410A, R134a	85	4–6
	District Heating	500–2000	4.0–5.5	3.8–5.0	R717, R290	90	5–8

the European Union



УРОК 10

Цикъл с впръскване на пари



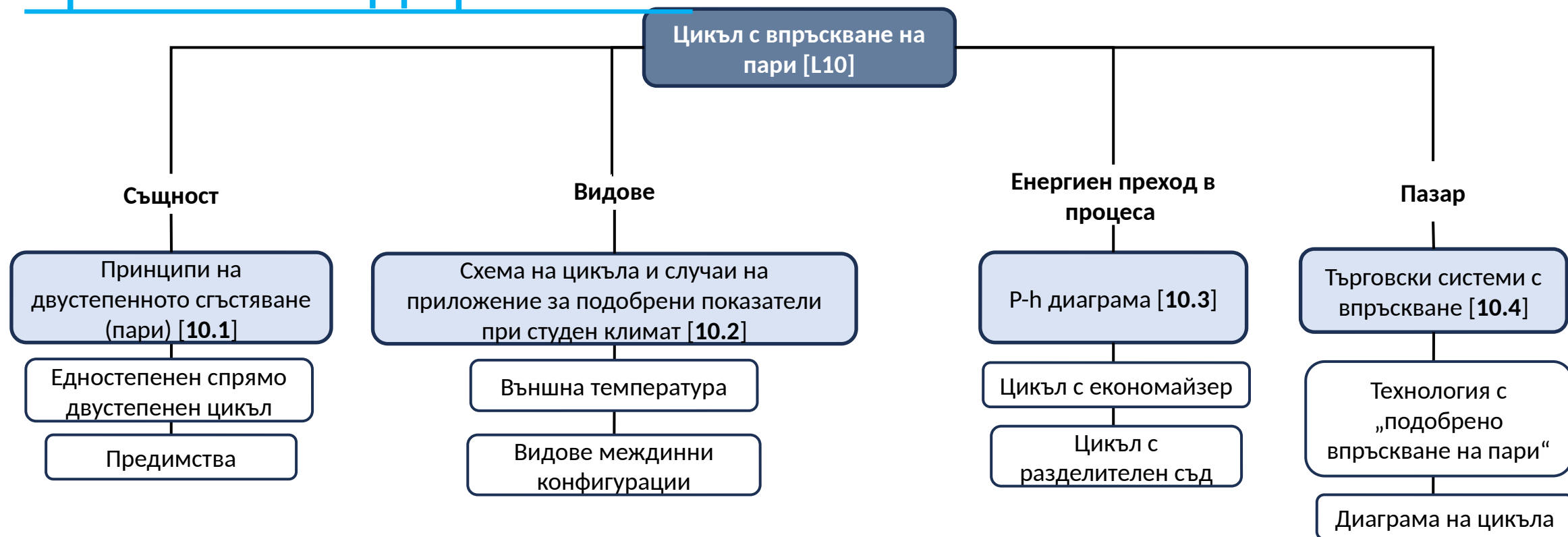
Co-funded by
the European Union



Урок 10 Цели

1. Представяне на двустепенното сгъстяване (компресия) с впръскване на пари
2. Разглеждане на различни конфигурации с економайзер и междинен разделителен съд (сепаратор) и разясняване на тяхното влияние върху междинното налягане, температурата на нагнетяване и капацитета при студен климат
3. Възможности за прилагане на различни елементи в компресори с подобро впръскване на пари

Урок 10 Съдържание



10.1 Принципи на двустепенното сгъстяване с впръскване на пари

Цел – икономически проблем

Приложенията на термопомпите изискват:

- много ниски температури на изпарение
- много високи температури на кондензация

ВОДЯТ ДО →

- високи съотношения на налягането в компресора в сравнение с едностепенните цикли на ТП
- ниски стойности на COP и... възможни повреди

Решение - **двустепенен термопомпен цикъл:**

- работна температура T на компресора ↓
- степен на преохлаждане на хладилния цикъл ↑
- COP на системата ↑

10.1 Принципи на двустепенното сгъстяване с впръскване на пари

Основа → впръскване на пари от хладилния агент в междинна точка на компресора
2-степенно сгъстяване (степен ниско / високо налягане):

Предимства:

- Повишаване на капацитета (мощността) при сурови климатични условия (отопление при $T = 0^{\circ}\text{C}$ и охлаждане при $T > 35^{\circ}\text{C}$ температура на околната среда)
- Гъвкавост на системата чрез регулиране на дебита на впръсквания хладилен агент (икономия на енергия)
- Температурата на нагнетяване на компресора при цикъл с впръскване на пари е по-ниска от тази при конвенционален едностепенен цикъл

- Съотношението на наляганията, поемано от всяка степен на компресора, се намалява (подобрява се обемната ефективност, понижава се температурата на нагнетяване, осигурява се стабилна работа при високи температурни разлики / повдигания) Междинно впръскване на пари: Прегряти пари се впръскват в междинна степен, което позволява допълнителен масов дебит към степента с високо налягане. Това възстановява енергия, увеличава плътността на сгъстените пари и подобрява COP на системата.

10.2 Схема на цикъла и случаи на приложение за подобрени показатели при студен климат

Технология с двустепенно парокompресорно сгъстяване

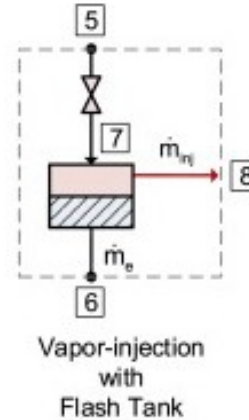
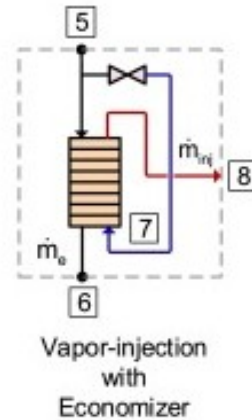
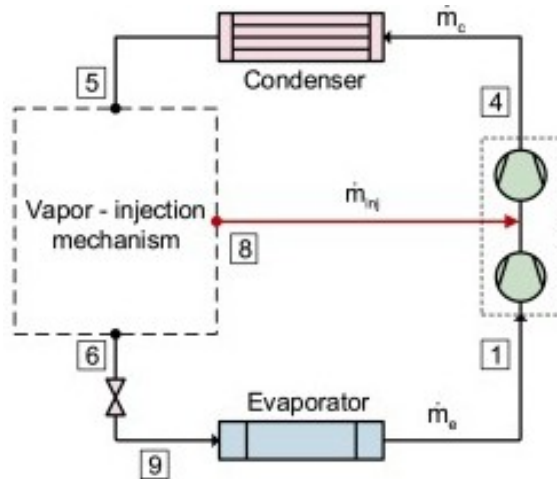


особено подходяща за термопомпи за студен климат. Съществуват няколко вида междинни конфигурации.

Често срещана конфигурация →
впръскване на пари с разделителен съд
(сепаратор) и впръскване на пари с
економайзер (вътрешен
топлообменник).



10.2 Схема на цикъла и случаи на приложение за подобрени показатели при студен климат



Комбинации:

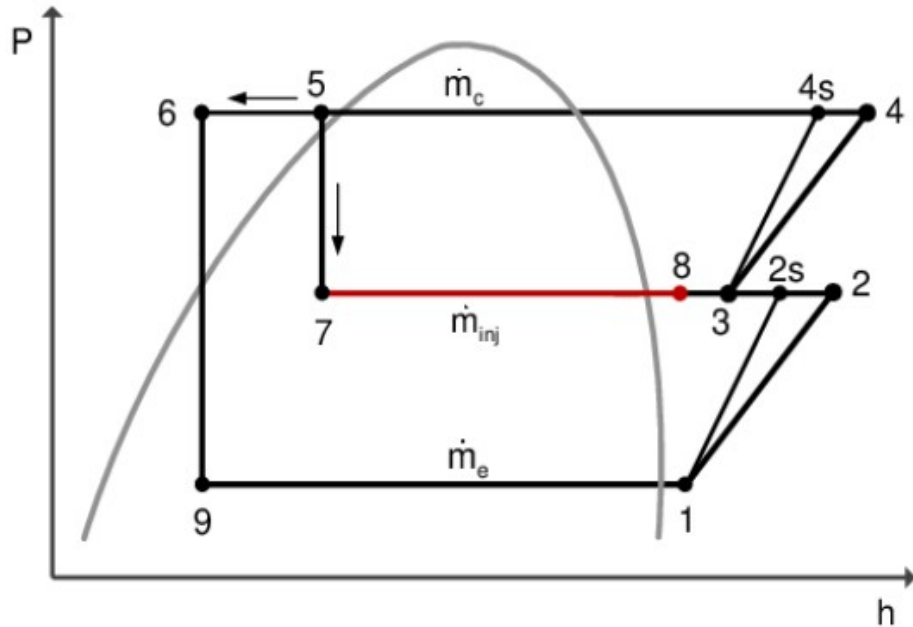
- При цикъла с разделителен съд (сепаратор): Хладилният агент се дроселира (разширява) до междинно налягане, след което течната и парообразната му фаза се разделят в сепаратора. Парите на хладилния агент се впръскват в междинната степен на сгъстяване, докато течната част се дроселира до налягането на изпарение.

При цикъла с економайзер: Част от хладилния агент се отклонява на изхода на кондензатора и се дроселира до междинно налягане. Тази част от хладилния агент се изпарява в економайзера чрез топлообмен с останалата част от хладилния агент, след което се впръсква в междинната степен на сгъстяване.

- И при двете конфигурации на цикъла: Не се допуска впръскваният масов дебит да се разширява (дроселира) до налягането на изпарителя; следователно работата за сгъстяване на тази част от хладилния агент е по-малка, което води до подобряване на COP.

Двустепенен парокомпресорен цикъл с впръскване на пари

10.3 P-h диаграми



Двустепенен цикъл с впръскване на пари и економайзер

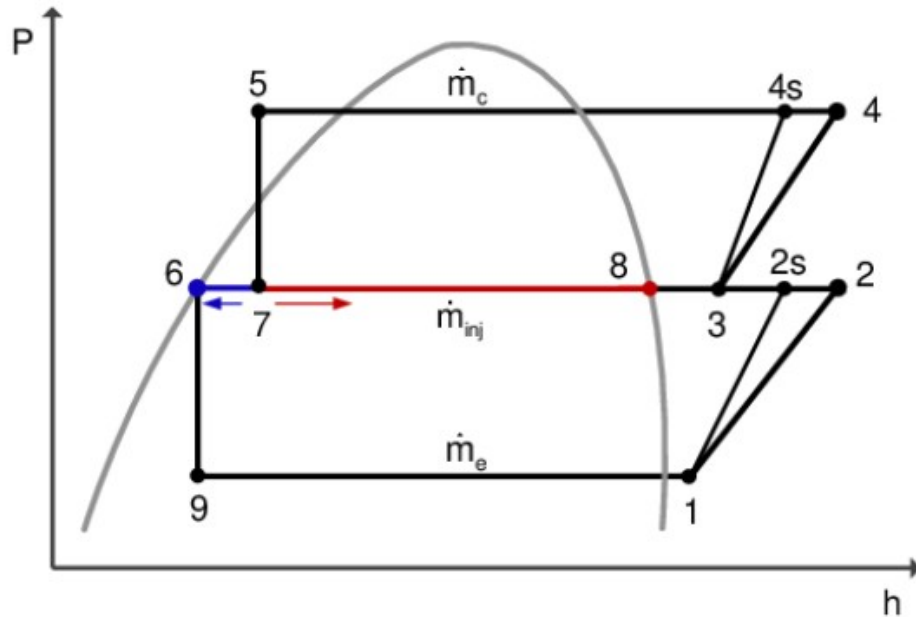
Цикъл с економайзер:

- Част от хладилния агент се отклонява (състояние 5) и се дроселира до междинно налягане (състояние 7).
- Тази част от хладилния агент се изпарява в економайзера (процес 7 – 8) чрез топлообмен с останалата част от хладилния агент.
- След това парите се впръскват (състояние 8) в междинната степен на сгъстяване.
- Състояние 3 е резултат от смесването на парите на хладилния агент (състояние 8 и състояние 2) преди втората степен на компресора.

Други процеси:

- Процес 1 – 2 е първа степен на сгъстяване (1 – 2s – изоентропийно сгъстяване).
- Процес 9 – 1 е изпарение и прегряване в изпарителя.
- Процес 3 – 4 е втора степен на сгъстяване (3 – 4s – изоентропийно сгъстяване).
- Състояние 3 е резултат от смесването на парите на хладилния агент (състояние 8 и състояние 2).
- Процес 4 – 5 е кондензация и преохлаждане в кондензатора.

10.3 P-h диаграми



Двустепенен цикъл с впръскване на пари и разделителен съд (сепаратор)

! И при двете конфигурации на цикъла не се допуска впръскваният масов дебит да се разширява (дроселира) до налягането на изпарителя.

Цикъл с разделителен съд (сепаратор):

- Кондензиращият хладилен агент (състояние 5) се дроселира до междинно налягане (състояние 7).
- Течната (състояние 6) и газообразната (състояние 8) фаза на хладилния агент се разделят в сепаратора.
- Парите на хладилния агент се впръскват в междинната степен на сгъстяване, докато течната част се дроселира до налягането на изпарение (състояние 9).

Други процеси:

- Процес 9 – 1 е изпарение и прегряване в изпарителя.
- Процес 1 – 2 е първа степен на сгъстяване (1 – 2s – изоентропийно сгъстяване).
- Процес 3 – 4 е втора степен на сгъстяване (3 – 4s – изоентропийно сгъстяване).
- Състояние 3 е резултат от смесването на парите на хладилния агент (състояние 8 и състояние 2).
- Процес 4 – 5 е кондензация и преохлаждане в кондензатора.

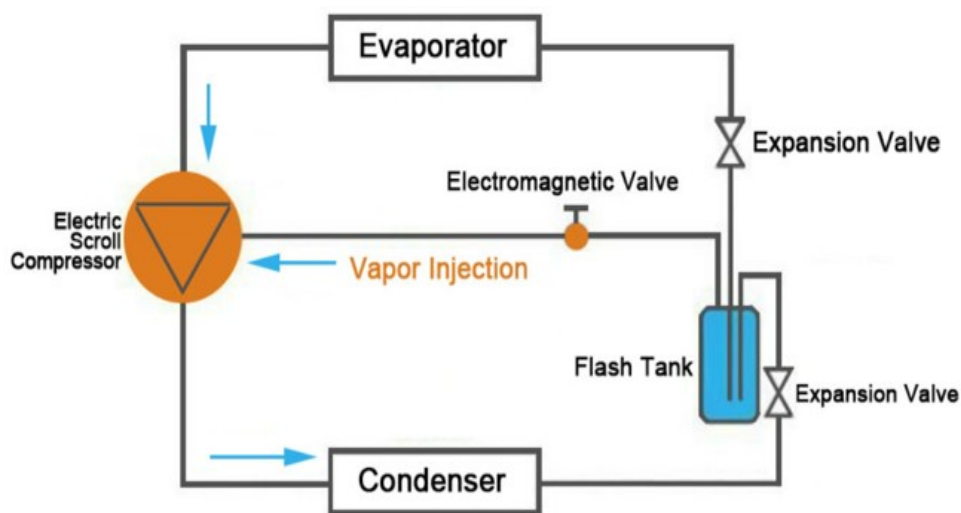


Co-funded by
the European Union



10.4 Търговски системи с впръскване

Популярно наименование: „подоброено впръскване на пари“ (Enhanced Vapour Injection – EVI), т.е. схема за въздушни термopомпи при студен климат. Това означава цялостна термopомпена система със специален компресор с подоброено впръскване на пари (допълнителен смукателен щуцер за пари).



Технология „подоброено впръскване на пари“

Основната същност на тази опция е разделянето на първоначалния едностепенен процес на сгъстяване в квази-двустепенен процес на сгъстяване чрез използване на пари.

Процес:

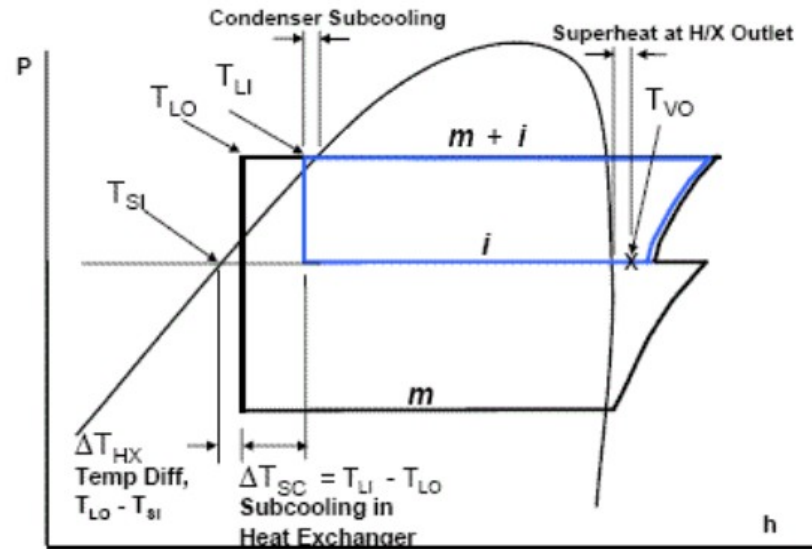
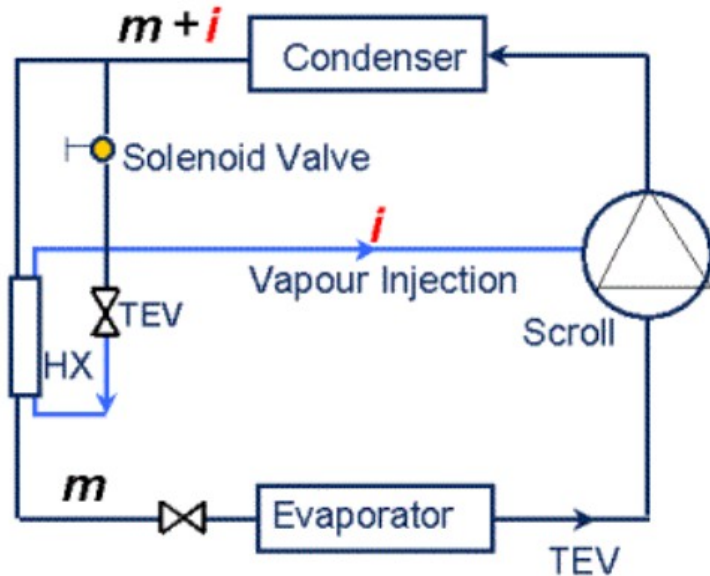
- **Стъпка 1:** Компресорът получава енергията А, абсорбирана от изпарителя от въздуха, и я сгъстява.
- **Стъпка 2:** Включва се спомагателният кръг за впръскване на пари и парите преминават през компресора.
- **Стъпка 3:** Частта от енергията А, която се сгъстява от компресора, се смесва с постъпващите пари. Този процес продължава, докато работната камера на компресора се отдели от всмукателния щуцер. В този момент парите са напълно смесени с енергията А и се превръщат в нова енергия В.
- **Стъпка 4:** След като горивната/работната камера на компресора се отдели от щуцера за впръскване на пари, енергията В преминава във втората степен на сгъстяване и накрая навлиза в кондензатора за топлообмен с водата.



Co-funded by
the European Union



10.4 Търговски системи с впръскване



Популярна версия с впръскване на пари: система с економайзер и компресор със специална конструкция с допълнителен щуцер за впръскване.

Принципна схема и хладилен цикъл на система със спирален компресор с впръскване на пари

- Единствената разлика е, че вместо два отделни компресора се използва един-единствен компресор с допълнителен щуцер за впръскване.
- За тази цел най-често се използват спирални компресори, при които е по-лесно да се реализира междинно впръскване.
- При по-големи системи се използват и винтови компресори.



Co-funded by
the European Union



УРОК 11

Каскадни термопомпени системи



Co-funded by
the European Union



Урок 11 Цели

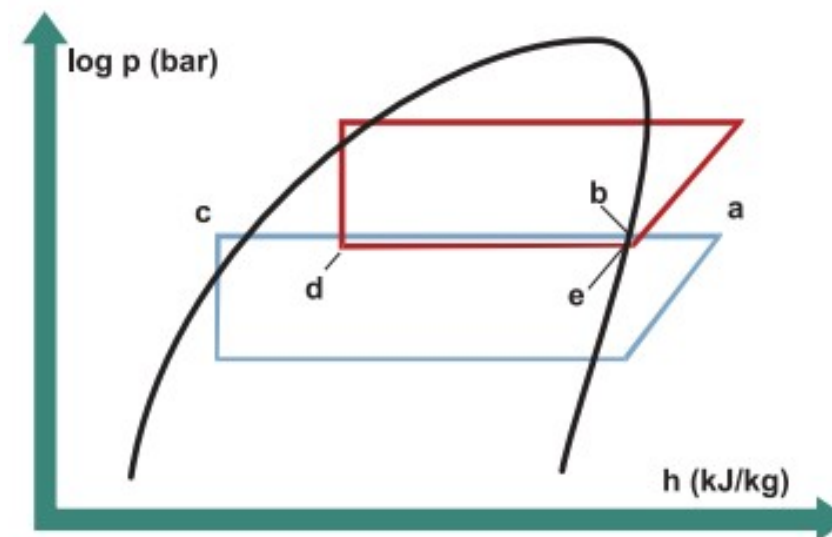
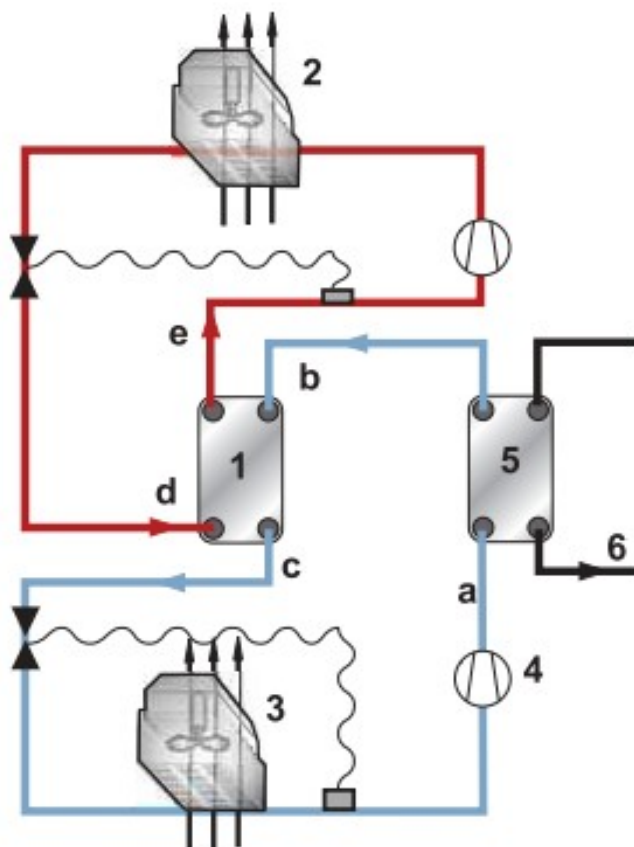
1. Представяне на концепцията за каскадни системи, с акцент върху разделянето на нискотемпературния и високотемпературния кръг.
2. Интерпретация и разчитане на P-h диаграма.
3. Описание на функцията на каскадния топлообменник и критерии за избор на хладилен агент.
4. Разбиране на различните приложения, изискващи голяма температурна разлика (между изпарение и кондензация) или стъпаловидни температурни нива, включително паралелни, последователни и хибридни конфигурации.

Урок 11 Съдържание



11.1 Концепция, конфигурация на каскадни цикли, P-h диаграма

- (1) Каскаден теплообменник
- (2) Въздушен кондензатор
- (3) Нискотемпературен въздушен изпарител
- (4) Нискотемпературна компресорна степен
- (5) Споен пластинчат теплообменник – охладител на прегрети пари
- (6) Гореща вода за битови нужди (БГВ)



- (a) Температура на нагнетяване за нискотемпературния цикъл
- (b) Температура на парите на входа на каскадния теплообменник след охладителя на прегрети пари
- (c) Температура на кондензата на изхода за студения цикъл
- (d) Температура след ТРВ (терморегулираща вентил) в топлия цикъл
- (e) Температура на изпарение в топлия цикъл

11.1 Концепция, конфигурация на каскадни цикли, P-h диаграма

избор на хладилен агент

Многостепенни хладилни цикли

- Един и същ хладилен агент трябва да работи както при най-високото, така и при най-ниското ниво на налягане. Изборът на хладилен агент, който да избегне прекомерно високи налягания във въздушния кондензатор и налягания на изпарение под една атмосфера в студения изпарител, може да бъде труден.
- Повишен риск от проникване на въздух и влага в системата (вакуумиране/пропускане), което води до понижена ефективност на системата.
- По-висок риск от неравномерно разпределение на маслото в системата.

Каскадни системи

Основно предимство: Двете степени не е задължително да съдържат един и същ хладилен агент.

- Каскадният теплообменник е изложен на колебания в температурата (T) и налягането (p).
- За да се избегне рискът от термична умора в каскадния апарат поради много висока температурна разлика (ΔT), се препоръчва инсталирането на охладител на прегрети пари (5).
- Охладителят на прегрети пари понижава температурата на газовата фаза на входа откъм кондензационната страна на каскадния апарат, като същевременно оползотворява енергията на прегряване за производство на високотемпературна вода (6).

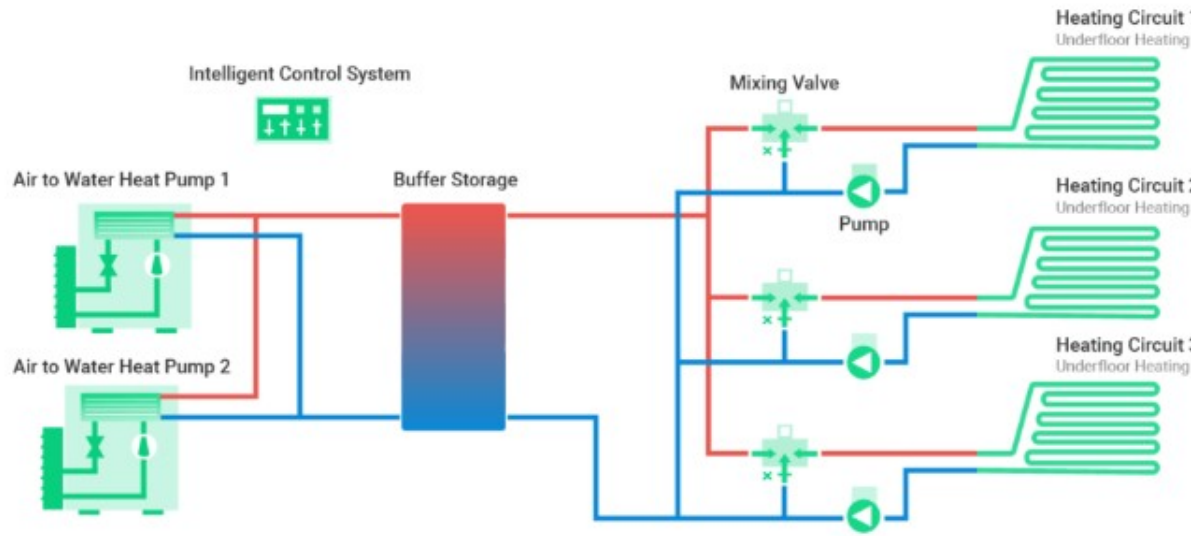


Co-funded by
the European Union

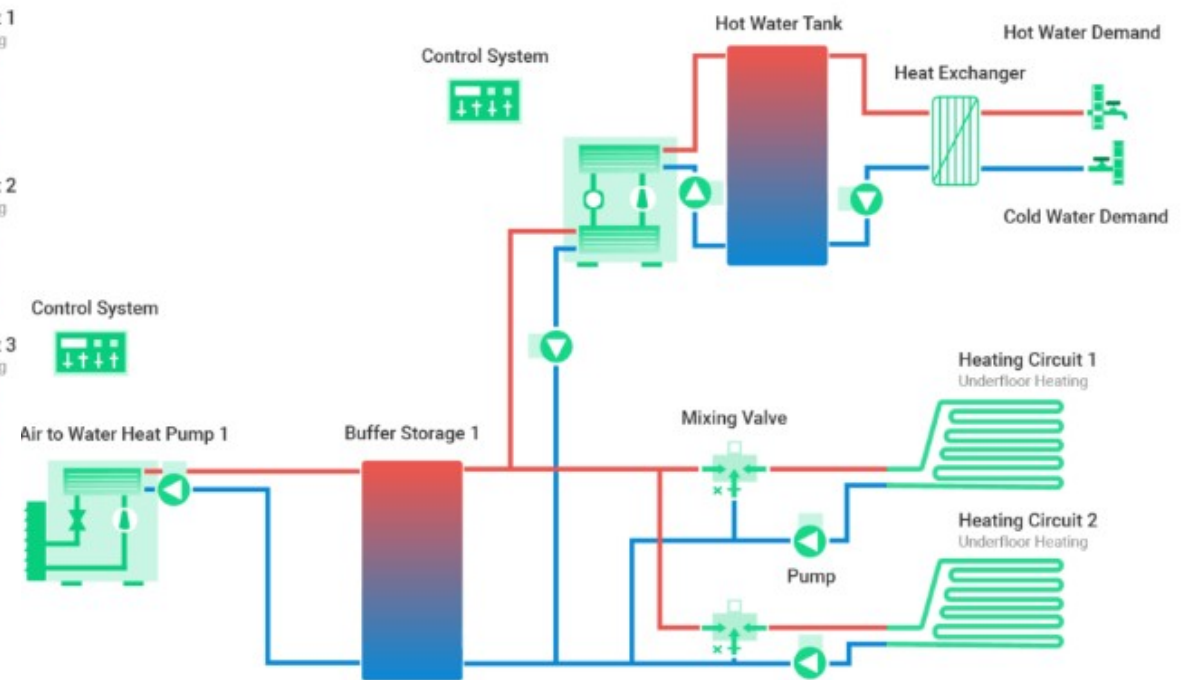


11.2 Приложения при голяма температурна разлика или подгряване на БГВ

Каскадната отоплителна система представлява конфигурация, при която няколко термопомпи са свързани последователно (сериенно) или паралелно, вместо да се използва един-единствен голям агрегат. Тези системи се проектират в случаи, когато е необходима висока мощност, където потреблението за отопление, битова гореща вода (БГВ) и охлаждане варира значително, или когато единичните големи системи достигат пределните си възможности.



Паралелна термопомпена каскада



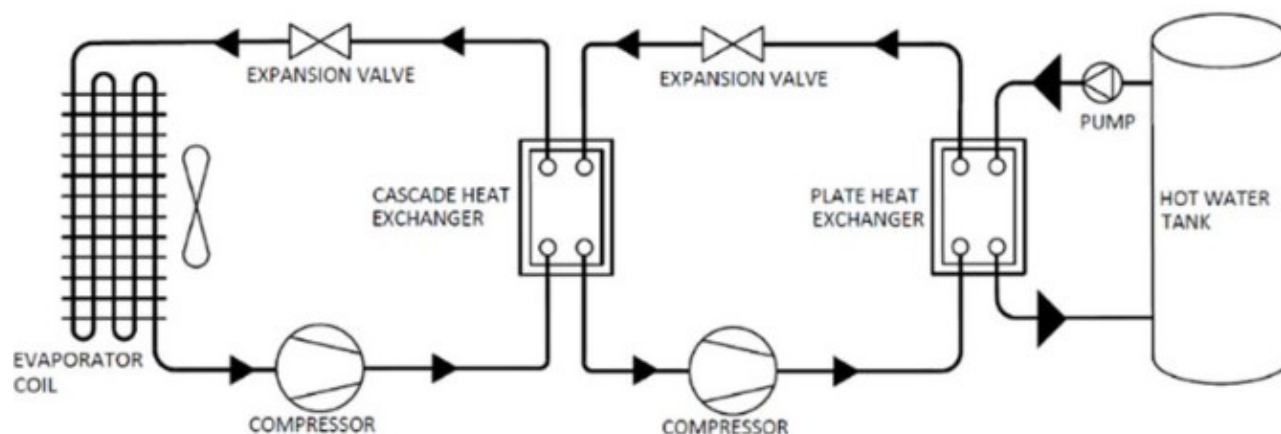
Последователна (сериенна) термопомпена каскада



Co-funded by
the European Union



11.2 Приложения при голяма температурна разлика или подгряване на БГВ



Хибридна каскадна термопомпа (въздух-вода)

Каскадната термопомпена система се състои от 2 хладилни кръга: нискотемпературен и високотемпературен кръг, свързани чрез каскаден топлообменник.

Каскадният топлообменник работи като кондензатор за нискотемпературния кръг и като изпарител за високотемпературния кръг.

 Co-funded by
the European Union



Комбинацията от последователни (сериен) и паралелни каскадни термопомпени системи се използва в по-сложни или по-големи отоплителни инсталации с вариращи изисквания за стъпално регулиране на мощността, температурните нива или резервираност на системата (резервиране на мощностите).

Типични приложения:

- Ниско- и високотемпературни степени
- Технологична топлина или битова гореща вода (БГВ)
- Хибридни отоплителни системи с оползотворяване на отпадна топлина (рекуперация)
- Реверсивни системи за отопление и охлаждане



11.3 Търговски / Промислени примери



Пример за каскадни термопомпени системи



Co-funded by
the European Union



Термопомпите се превръщат във все по-популярна и надеждна опция за ефективно отопление. Въпреки това, при по-големи търговски и обществени обекти със значителни нужди от отопление и битова гореща вода (БГВ), един-единствен термопомпен агрегат често се оказва недостатъчен. За тези сценарии с високи изисквания каскадната термопомпена система може да бъде идеалното решение.

Тези системи са проектирани да регулират мощността си динамично – когато потреблението е високо, всички агрегати могат да работят заедно, за да осигурят голяма обща мощност. През периоди с намалено потребление те могат да функционират самостоятелно или с частична мощност. Тази гъвкавост повишава енергийната ефективност, като предотвратява излишния разход на енергия.



11.3 Търговски / Промислени приг

Високи температури.

Каскадните системи достигат високи температури на топлоносителя, което ги прави изключително ефективни за осигуряване на битова гореща вода (БГВ).

Покриване на променливи температурни нужди.

Каскадните системи могат да осигурят широк диапазон от температури – от ниски (при работа само на първата степен) до високи (когато и двете степени работят на максимална мощност).



*Пример за каскадна система с термопомпи
Stiebel Eltron*



Co-funded by
the European Union



*Каскадно решение на Daikin
за високи температури на
водата.*

Каскадната система на Daikin се състои от решение с въздушноохлаждаем и водноохлаждаем агрегат, работещи съвместно за постигане на високи температури на подаващата вода, което я прави изключително подходяща за проекти за реновиране и модернизация. При по-стари сгради без топлинна изолация са необходими по-високи температури на топлоносителя, за да съответства на параметрите, осигурявани от съществуващия водогреев котел. Daikin може да осигури температура на водата до 75°C чрез каскадно решение, при което агрегатите въздух-вода и вода-вода работят в съвместен режим.



УРОК 12

Транскритични системи с CO₂



Co-funded by
the European Union

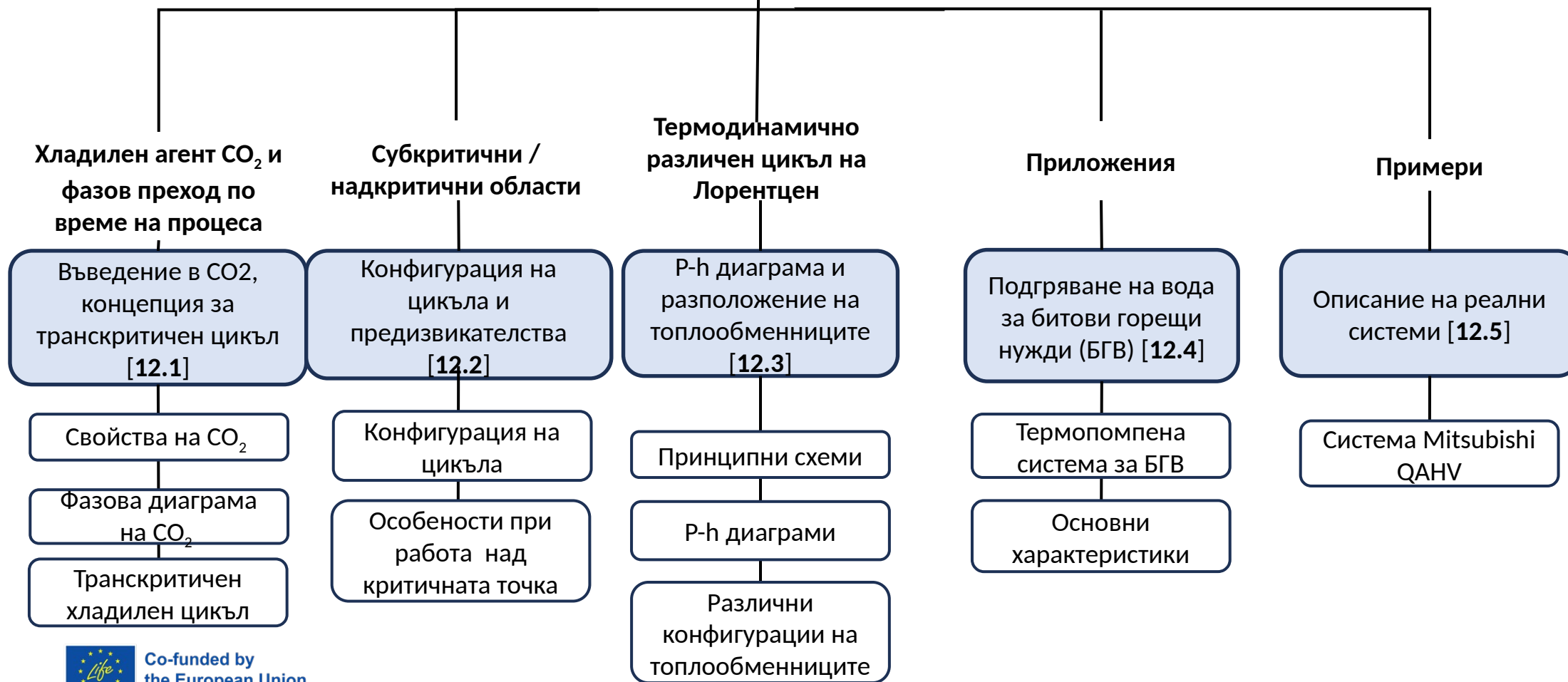


Урок 12 Цели

1. Общ преглед на транскритичните системи с хладилен агент CO₂.
2. Представяне на концепцията за транскритичен цикъл, фазовата диаграма и хладилния цикъл, с подробно разглеждане на ролята на газовия охладител (газоохладителя), работата при високи налягания и влиянието на критичната и тройната точка на CO₂.
3. Запознаване с реалния транскритичен термopомпен цикъл с CO₂ (цикъл на Лорентцен / Lorentzen cycle).
4. Сравнение на няколко системни архитектури с CO₂ и представяне на търговски високотемпературни системи за БГВ (напр. Mitsubishi QAHV).

Урок 12 Съдържание

Транскритични системи с CO₂ [L12]



12.1 Въведение в CO2 като хладилен агент и концепция за транскритичен цикъл

CO2 е един от естествените хладилни агенти, които могат да се използват като работно тяло в различни хладилни и термопомпени приложения, наред с амоняка и въглеводородите.

Предимства

- Безопасност: CO2 е нетоксичен и негорим (клас A1);
- Термодинамични:
 - (a) CO2 има сравнително ниска критична температура $T_{cr}(31.1^{\circ}\text{C})$ и високо работно налягане (7.38 MPa);
 - (b) транскритичният цикъл има някои уникални характеристики, като например еднофазния процес на охлаждане на газа при отдаване на топлина; газовото охлаждане се отличава с голям температурен интервал на охлаждане, което съответства по-добре на процеса на подгряване на вода/въздух;
 - (c) обемната хладилна мощност е доста висока, което позволява използването на по-малки компоненти за постигане на по-компактна и по-ефективна система;
 - (d) топлинната проводимост на CO2 е сравнително висока, което показва по-добър топлообмен.
- Екологични: висока екологичност и по-добра съвместимост със стандартните хладилни масла.
- Икономически: по-ниска цена на хладилния агент.

Предизвикателства

- Изисква подсилени (високонапорни) компоненти и надежден компресор

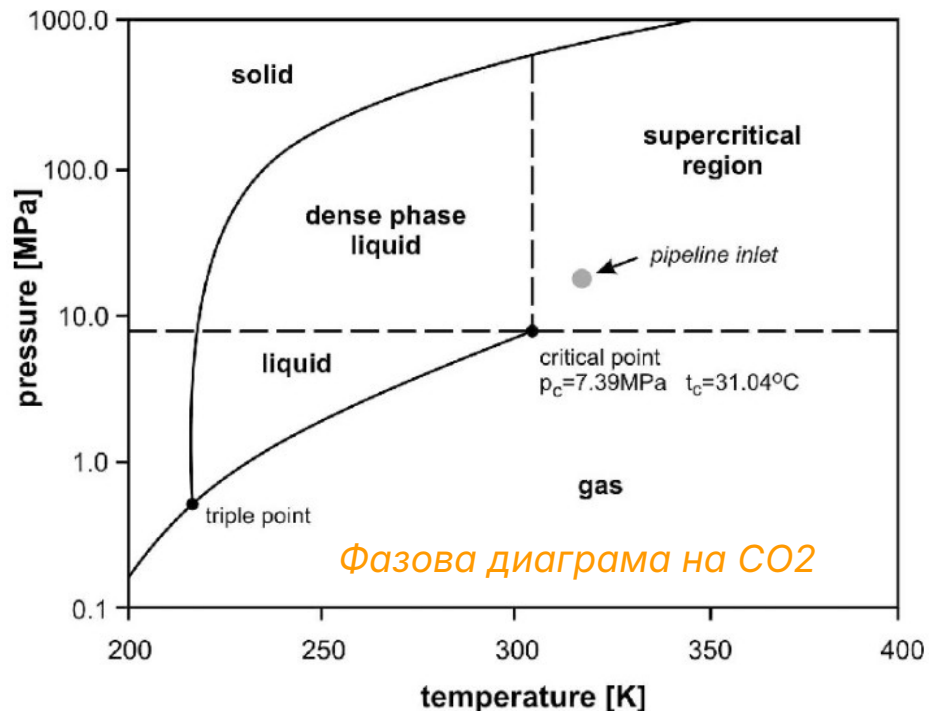


Co-funded by
the European Union



12.1 Въведение на CO₂ като хладилен агент и концепция за

транскритичен цикъл



Тройната точка представлява състоянието, при което и трите фази могат да съществуват едновременно в равновесие (5.2 bar - 56.6°C).

При температури под тройната точка течната фаза не може да съществува.

При атмосферно налягане CO₂ може да съществува само като твърдо тяло или пара (газ).

Критичната точка отбелязва горната граница за топлообменните процеси, базирани на изпарение или кондензация.

При температура T и налягане p , по-високи от тези в критичната точка, областта се нарича надкритична (флуидна) област — налице са надкритични условия.

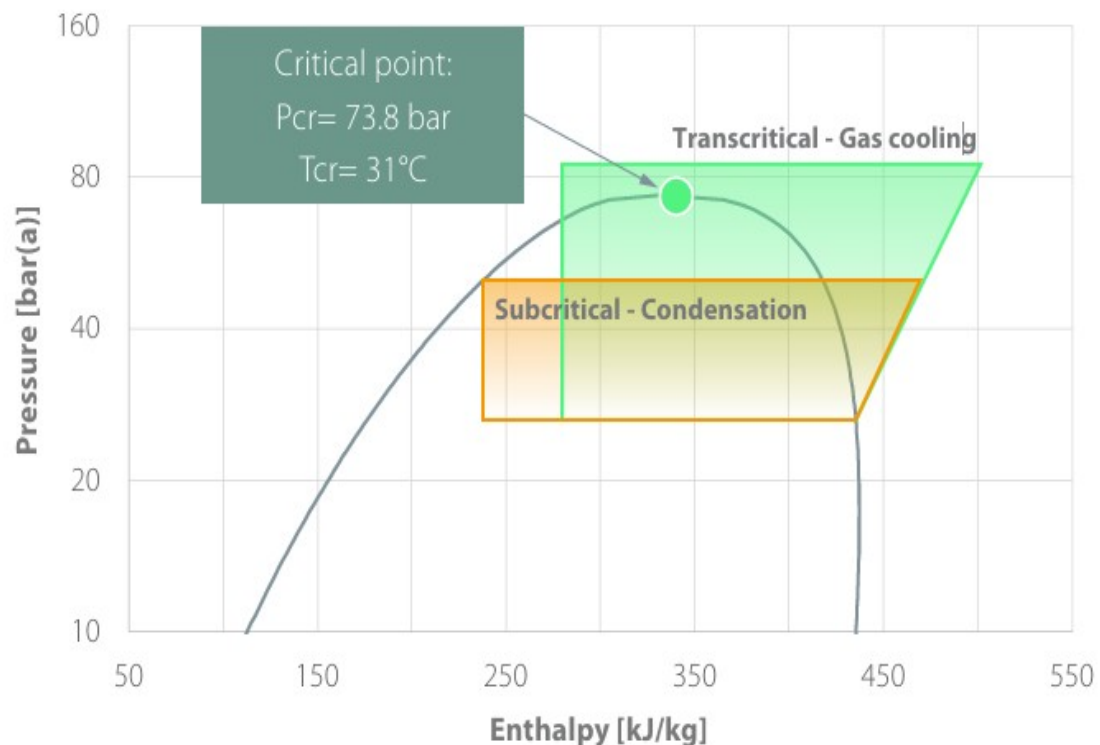
Транскритичен хладилен цикъл: възниква, когато част от хладилния процес протича над критичната температура T_{cr} . Поглъщането на топлина в изпарителя протича при налягане под P_{cr} . Отдаването на топлина в газовия охладител (газоохладителя) протича при налягане над P_{cr} . Поради това топлината се отдава в определен температурен диапазон. Това е в контраст с конвенционалните компресорни системи, при които отдаването на топлина протича при постоянна температура (кондензация).



Co-funded by
the European Union



12.2 Конфигурация на цикъла и предизвикателства над критичната точка



P-h диаграма

Транскритичните термопомпи имат същата основна конфигурация, както всяка парокомпресорна термопомпа. Те обаче изискват ниска температура на връщащата линия $< 30^\circ\text{C}$ и могат да осигурят високи температури на подаване $> 80^\circ\text{C}$.

При парокомпресорните цикли хладилните агенти обикновено работят в подкритични условия. Транскритичният цикъл е в състояние да работи както в подкритична, така и в надкритична област. В подкритичен режим отдаването на топлина се осъществява чрез кондензация, докато в транскритичен режим то се постига чрез охлаждане на газа (газово охлаждане).

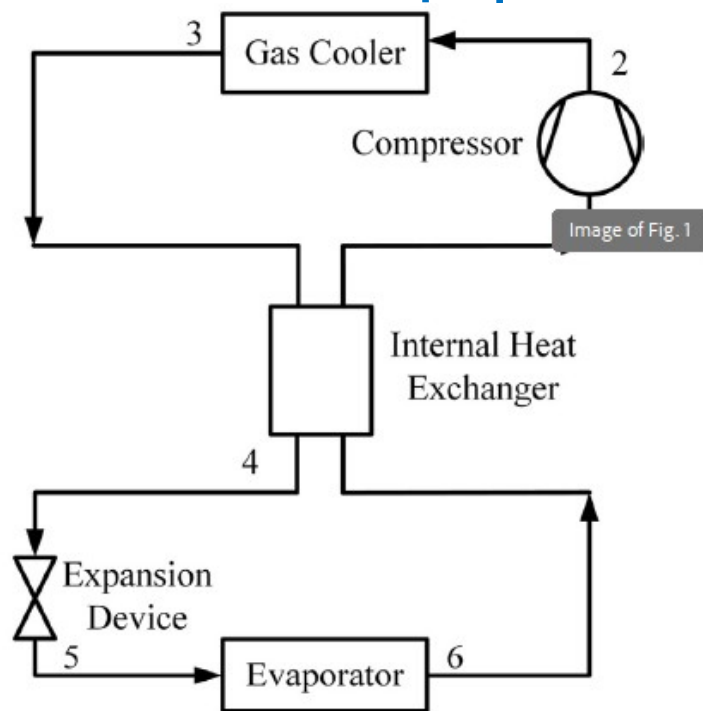
За тази цел хладилните системи с CO_2 използват специфичен топлообменник — газоохладител. Газоохладителят играе ключова роля в системата с CO_2 , като осигурява ефективен топлообмен по време на процеса на охлаждане на газа.



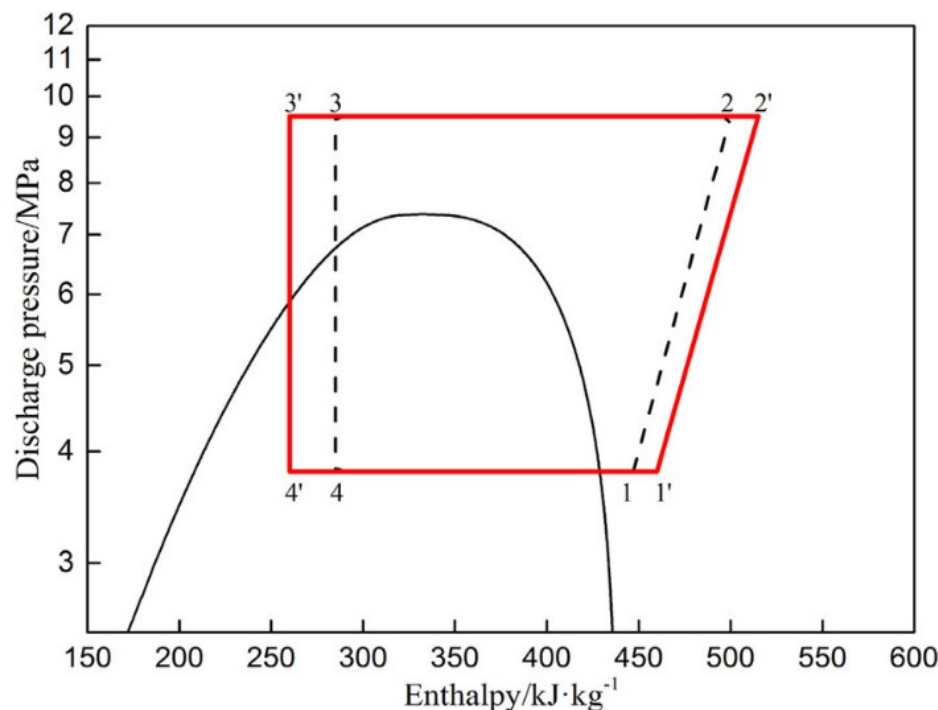
Co-funded by
the European Union



12.3 P-h диаграма и разположение на топлообменниците, специфични за системи с CO₂



Принципна схема на термопомпа с CO₂ и вътрешен топлообменник



Диаграма налягане-енталпия (P-h диаграма)

1-2-3-4-1 : система без вътрешен топлообменник

1'-2'-3'-4'-1' : система с вътрешен топлообменник

Теоретичен цикъл:

- 1-2 (1' -2'): Изоентропийно сгъстяване (компресия) в компресора

- 2-3 (2' -3'): Отдаване на топлина без фазов преход в газовия охладител

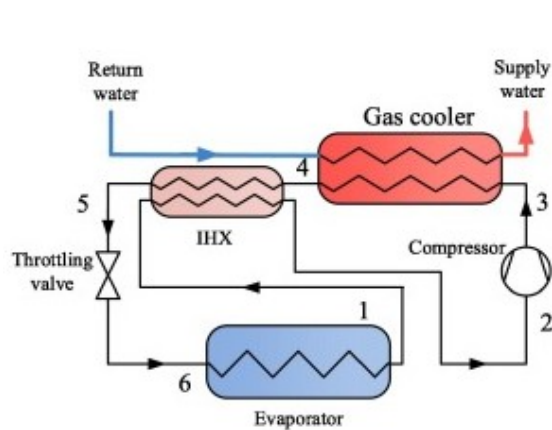
- 3-4 (3' -4'): Изоенталпийно дроселиране в регулиращия вентил

- 4-1 (4' -1'): Поглъщане на топлина с фазов преход (изпарение) в изпарителя

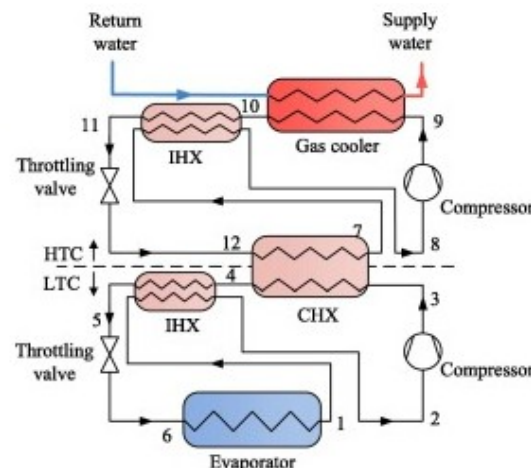
- 3-3' and 1-1': Топлообмен във вътрешния топлообменник

Забележка: Транскритичните термопомпени системи въздух-вода с CO₂ се използват за осигуряване на гореща вода за битово и сградно отопление.

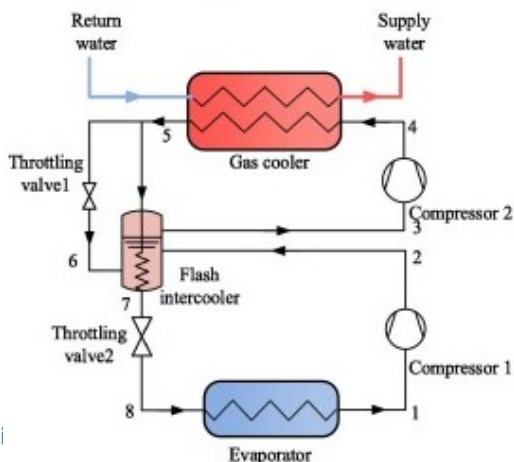
12.3 P-h диаграма и разположение на топлообменниците, специфични за системи с CO₂



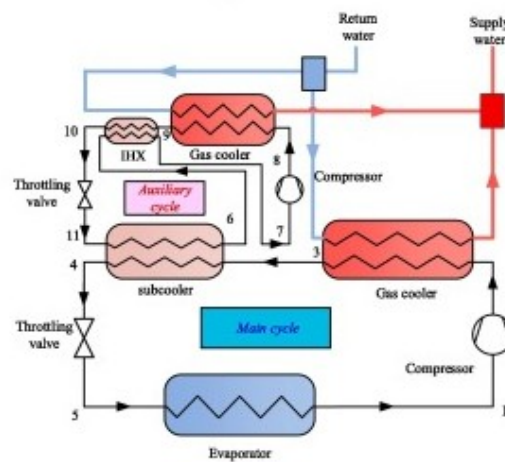
(a) BASE



(b) CHPS



(c) TSCHPS



(d) MSHPS

Принципни схеми
на термопомпени
системи с CO₂

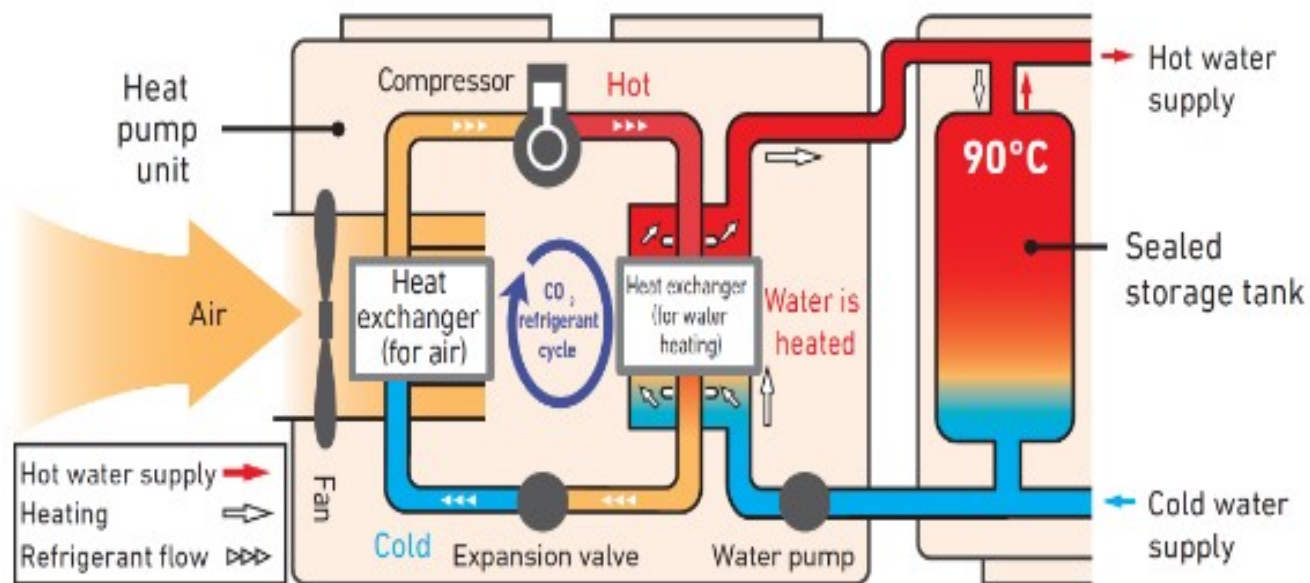
- a) **BASE:** Конвенционална транскритична термопомпена система с CO₂
- b) **CHPS:** Каскадна термопомпена система CO₂/CO₂
- c) **TSCHPS:** Термопомпена система с CO₂ с двустепенно съгъстяване и междинен разделителен съд (сепаратор)
- d) **MSHPS:** Термопомпена система с CO₂/CO₂ с механично преохлаждане



Co-funded by
the European Uni



12.4 Сценарии за приложение: Производство на битова гореща вода (БГВ)



Високотемпературна термопомпена система с CO₂ за гореща вода

Технологията на термопомпите с CO₂ се усъвършенства непрекъснато и днес предоставя значителни възможности за спестяване на енергия и устойчиво отопление.

Термопомпени системи с CO₂ за БГВ:

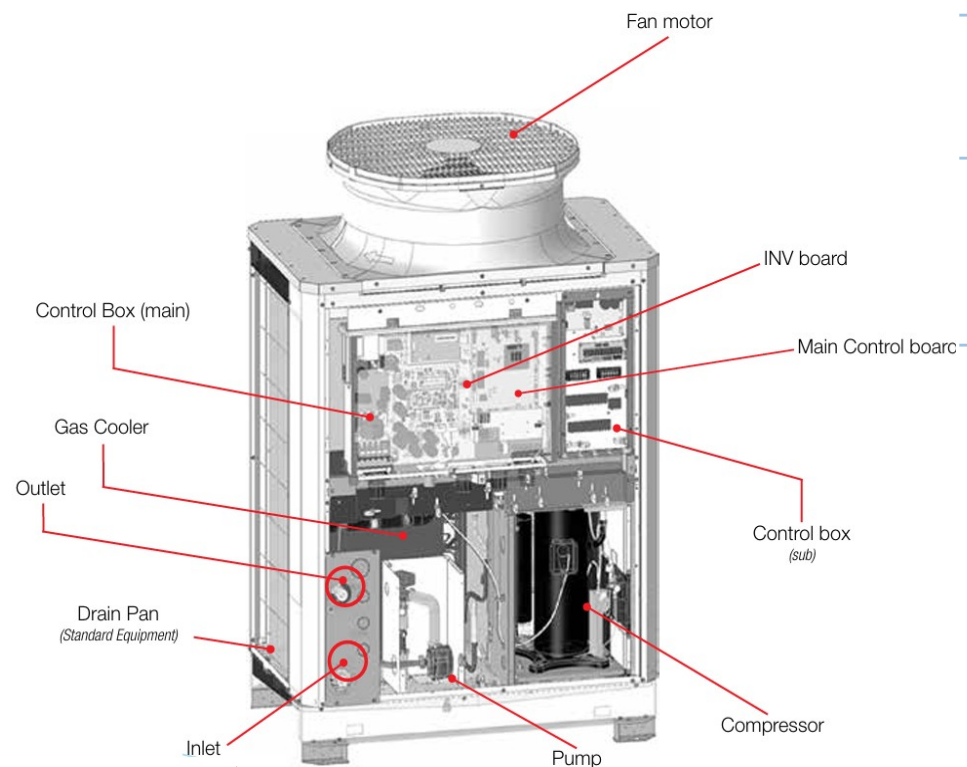
- използват естествения, екологичен хладилен агент CO₂
- осигуряват високо ниво на безопасност (липсата на горивен процес намалява риска от пожар)
- произвеждат гореща вода със среден COP до 4.2
- преобразуват 1 kW вложена енергия в 3.9 kW отдадена енергия
- произвеждат гореща вода с температура до 90°C, дори при външни температури, падащи до -25 °C
- осигуряват енергийно ефективни решения за БГВ и отопление на помещения за промишлени, търговски и жилищни приложения



Co-funded by
the European Union



12.5 Описание на реални системи



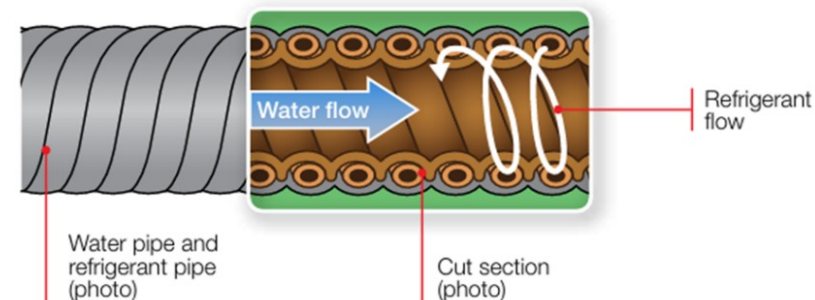
Елементи на агрегата Mitsubishi QAHV



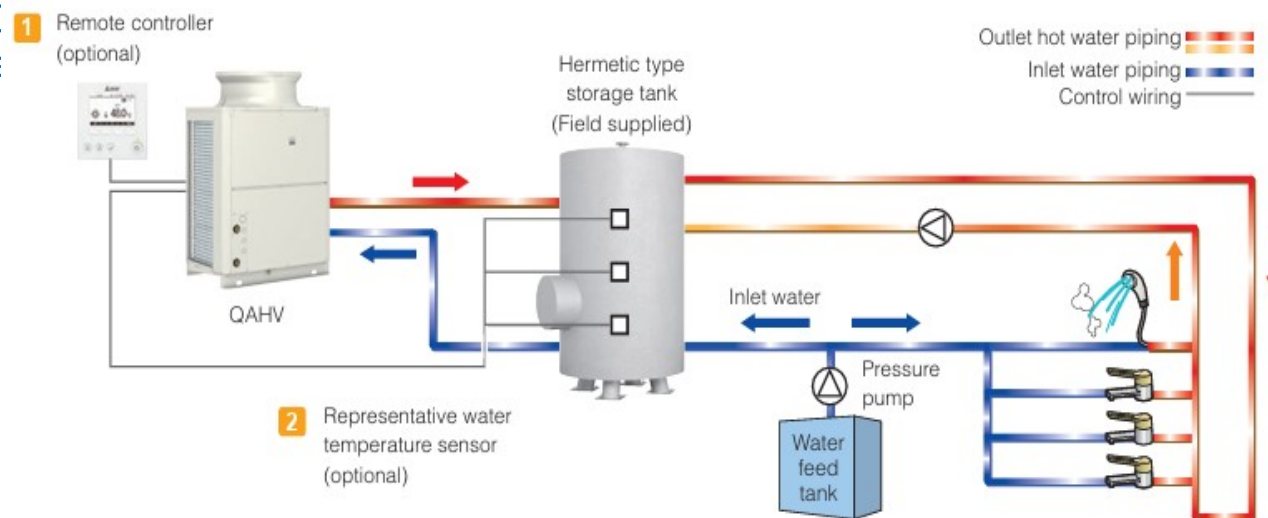
Co-funded by
the European Union



- проектиран специално за производство на битова гореща вода (БГВ)
 - при температура на подаване от 65°C моделът QAHV е с приблизително 70% по-ефективен от Mitsubishi CAHV
- осигурява максимална температура на подаване, която е с 20°C други т



Газов охладител с усукани спирални тръби Mitsubishi QAHV



Принципна схема на система Mitsubishi QAHV



УРОК 13

Естествени хладилни агенти в битови системи



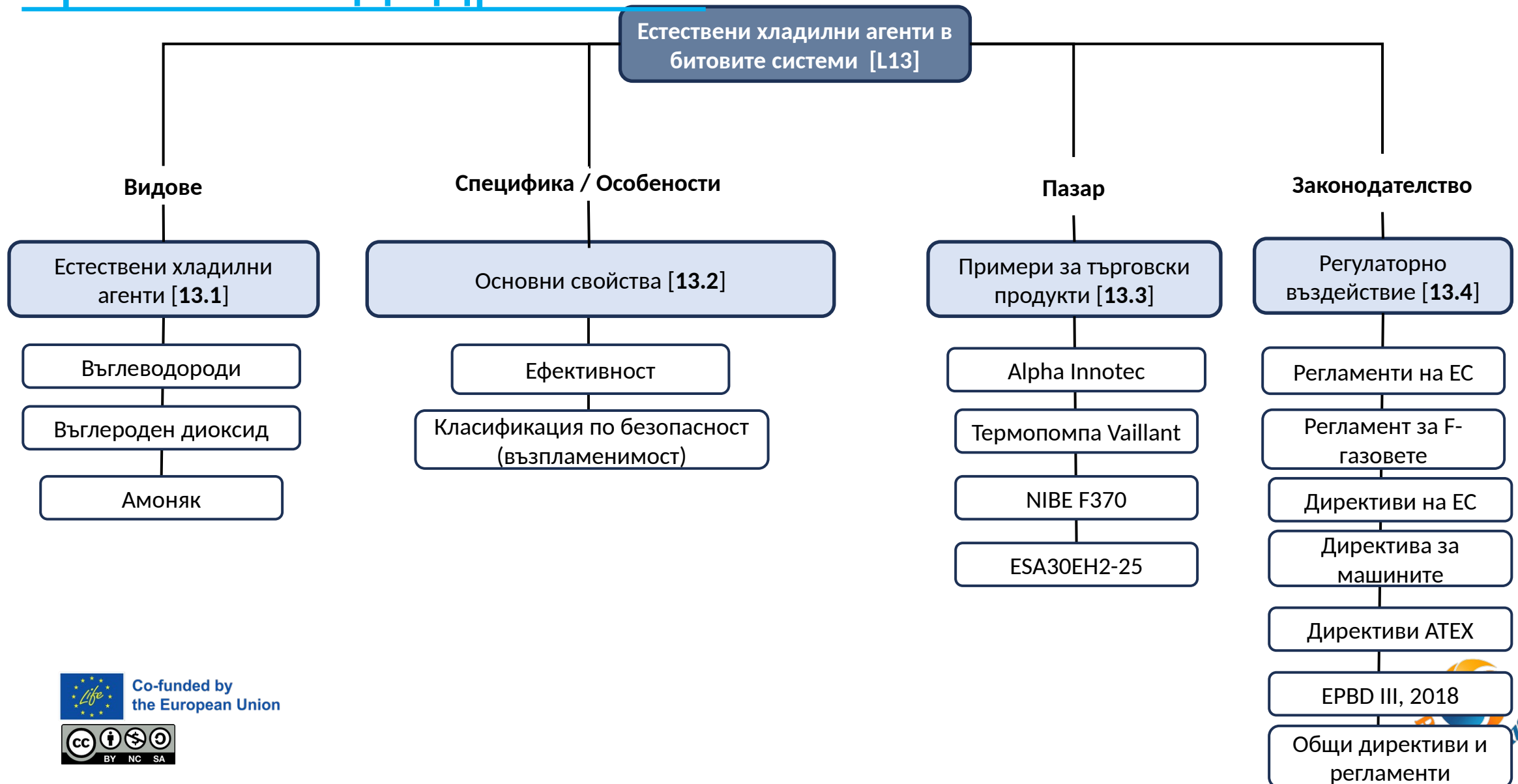
Co-funded by
the European Union



Урок 13 Цели

1. Преглед на естествените хладилни агенти с акцент върху тяхното термодинамично поведение, класове на безопасност, както и управлението на риска от възпламенимост и токсичност.
2. Представяне на битови продукти и системи.
3. Общ преглед на регулаторната рамка на ЕС, подпомагаща избора на хладилен агент и проектирането на системи.

Урок 13 Съдържание



13.1 Естествени хладилни агенти

3-те най-разпространени естествени хладилни агента:

1. Въглеводороди

(подходящи за по-малки термопомпи, моноблокове, единични сплит системи, колективни системи и промишлени приложения; по-малко подходящи за големи мултисплит и VRF системи — високи разходи и повишени мерки за безопасност).

2. Въглероден диоксид CO₂

(подходящ за по-високи температури на подаване както при малки, така и при големи термопомпи).

3. Амоняк

(основно подходящ за промишлени термопомпи. В бъдеще може да се използва

в високотехнологични хладилни системи са от клас на безопасност A3 (силно

термопомпи, работещи с природен газ). Най-често използваните въглеводороди имат

свойства, много близки до конвенционалните (H)CFC, HFC и HFO хладилни агенти (с изключение на възпламенимостта). Изборът на масло рядко представлява проблем.

(1) Въглеводородни хладилни агенти

Name	R number	Atmospheric boiling point (°C)	Pressure at 25°C in bar(a)	Comments
Ethane	R170	-89	24	Rarely used, high pressure
Propane	R290	-42	9.6	Most common
Propene (propylene)	R1270	-48	11.5	Rarely used, specific odour
Butane	R600	0	2.5	High-temperature heat pumps
Isobutane	R600a	-12	3.5	Suitable for small appliances
n-Pentane	R601	36	0.6	High-temperature heat pumps
Propaene	R433A	-44	10.3	Mixture of R290 and R1270, specific odour



Co-funded by
the European Union



13.1 Естествени хладилни агенти

(2) Хладилен агент въглероден диоксид (CO₂, R744)

Един от най-старите хладилни агенти в света. CO₂ се класифицира като хладилен агент от клас A1 (ниска токсичност, негорим). CO₂ притежава специфични свойства, които го правят много различен от останалите хладилни агенти. Тези специфични свойства понякога са предимство, но понякога са недостатък или ограничение:

- тройна точка (твърдо тяло–течност–пара, при -56.6°C
- сух лед (сублимация твърдо тяло–пара, при -78.4°C
- критична точка (изчезване на разликата между течност и пара, при 31 °C.

(3) Амоняк (R717, NH₃)

Един от най-старите хладилни агенти, широко използван при първите механични хладилни системи. Технологията продължава да се развива и предоставя възможност за иновации и конкурентоспособност на пазара. Той е с висока ефективност, не произвежда парникови газове и има незначително въздействие върху околната среда. Острата миризма на амоняка служи като ефективно предупреждение дори при малки течове.

Недостатъци:

- медта (обикновено използваният материал за тръби за хладилни агенти) не може да се използва с амоняк. Това налага използването на по-скъпи материали (стомана) и заваръчни съединения.
- токсичен и слабо възпламеним (рискове свързани с обществената безопасност и поява на корозия).

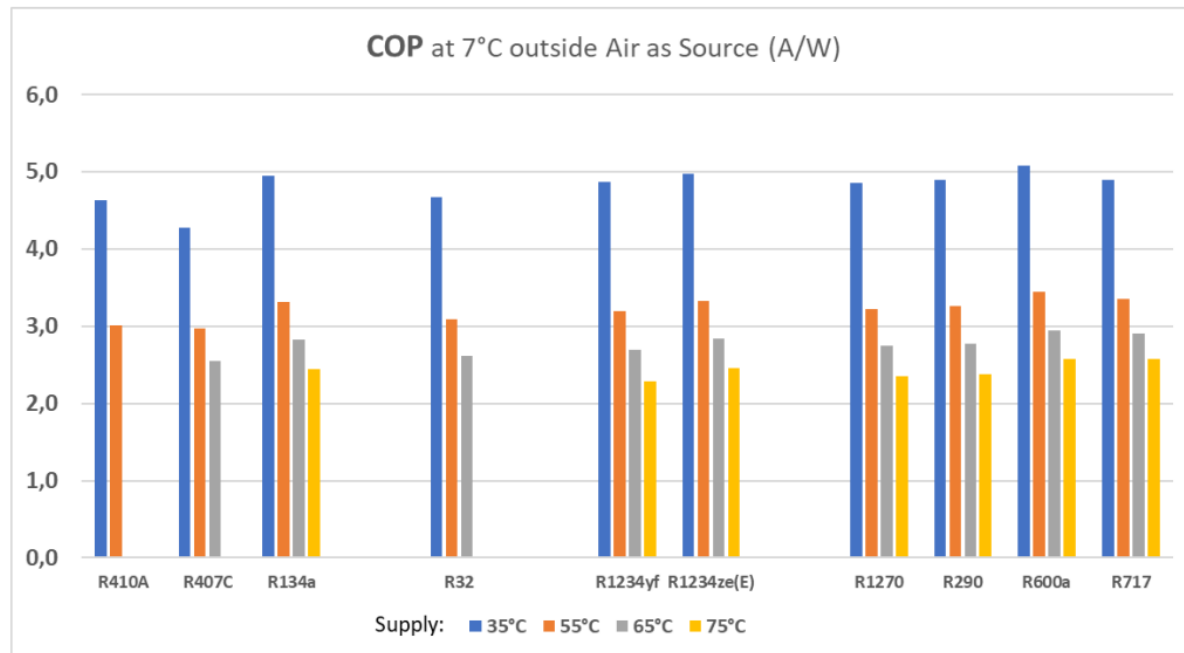


Co-funded by
the European Union



13.2 Ефективност, класификация по безопасност и възпламенимост

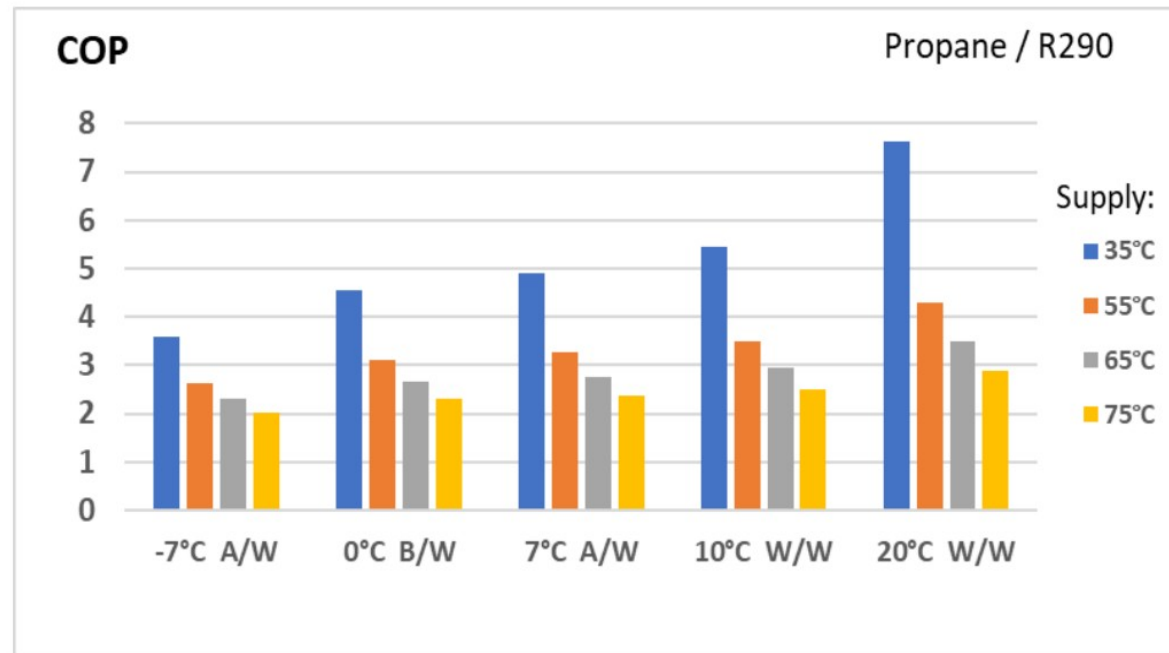
Ефективност



COP при различни хладилни агенти

Забележка:

Енергийните характеристики на термопомпата се определят главно от температурата на източника и подаващата температура, като важни са също условията на експлоатация и поведението на потребителя. Показаният теоретичен COP е изчислен при едни и същи външни условия. По-високата подаваща температура (при използване на пропан или CO₂ очевидно оказва влияние върху ефективността).



Влияние на работните условия при пропана (R290)



Co-funded by
the European Union



13.2 Ефективност, класификация по безопасност и възпламенимост

Класификация по безопасност

При естествените хладилни агенти (въглеводороди) тези рискове са свързани главно с възпламенимостта.

При въглеродния диоксид — с високите налягания и образуването на твърд въглероден диоксид (сух лед).

При амоняка — с токсичността.

A2L (R-410A. Основни примери включват R-32, R-454B, and R-1234yf): слабо възпламеними, ниска токсичност, нисък ПГЗ (GWP), по-безопасни от амоняка и въглеводородите, по-енергийно ефективни спрямо системи с R-410A и CO₂.

A3 (R290, R600a, R-170, R-290, R-600, R-600A): ниска токсичност и висока възпламенимост. Хладилните агенти от клас A3 изискват строги мерки за безопасност поради високата им възпламенимост, особено R290 и R600a, в

сравнение с тези от клас A2L.

F L A M M A B I L I T Y	SAFETY GROUP	
	Higher Flammability	A3 B3
	Flammable	A2 B2
	Lower Flammability	A2L B2L
	No Flame Propagation	A1 B1
	Lower Toxicity	Higher Toxicity
	INCREASING TOXICITY	

Класификация по безопасност
ASHRAE

13.3 Примери за търговски продукти

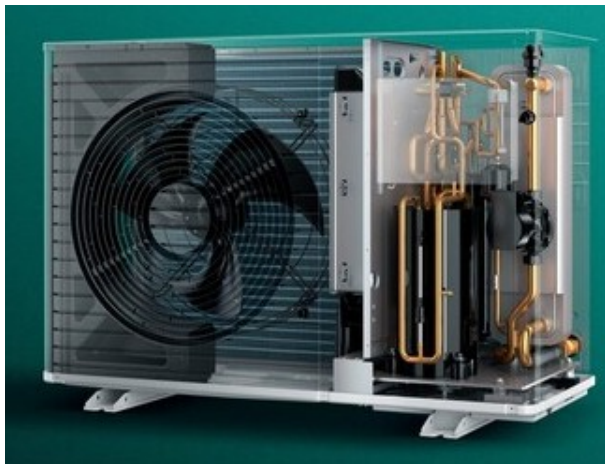
Естествени хладилни агенти — не се извличат директно от природата. Те се произвеждат промишлено, но са вещества, които се срещат естествено в нея. Най-често използваните са амоняк, въглероден диоксид и пропан.



Производител: Alpha Innotec

Термопомпа Alpha Innotec – LWDV с естествен хладилен агент пропан (8kW), широко използвана в битовия сектор и малкия бизнес.

Предимства: Най-добра в своя клас — гъвкава и ефективна; работи винаги според потребността; постига високи температури на подаване, което я прави идеална за проекти за реновиране.



Производител: Vaillant (термопомпи)

Термопомпа въздух-вода: aroTHERM plus (12kW). Използва естествения хладилен агент R290 за постигане на по-високи температури на подаване — до 75°C. Подходяща за всички приложения, тази термопомпа въздух-вода може да използва съществуващи радиатори и работи при външни температури до -25°C.

Модулът uniTOWER представлява интегриран 190-литров водосъдържател с хидравлични компоненти, който лесно осигурява достатъчно топла вода за нуждите на петчленно семейство, включително за използване на тропически душ. Благодарение на компактните си размери, системата е перфектен избор за нови сгради.

13.3 Примери за търговски продукти

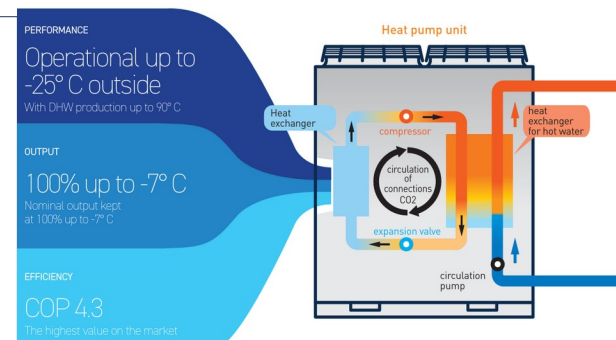
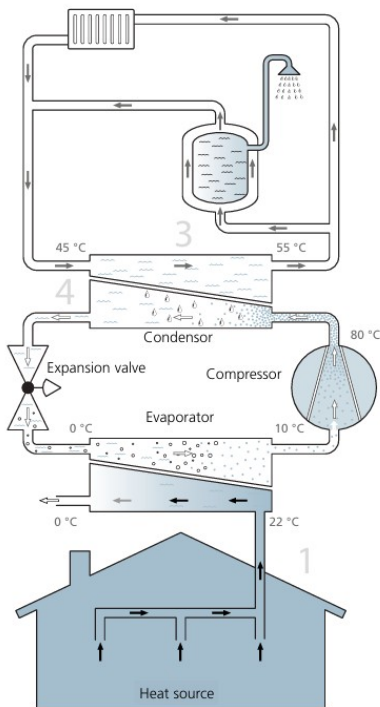
Естествени хладилни агенти — не се извличат директно от природата. Те се произвеждат промишлено, но са вещества, които се срещат естествено в нея. Най-често използваните са амоняк, въглероден диоксид и въглеводороди

← **Производител, NIBE F370**

Интегриран вентилатор с правотоков двигател (DC) + бойлер с антикорозионна защита + интегриран електрически потопяем нагревател. Предназначен е за нискотемпературно оразмерени радиаторни кръгове и/или подово отопление. NIBE F370 може да се подвързва към централно топлоснабдяване (ТЕЦ), котли на дърва, нафта и газ. Използва екологичния хладилен агент

R290 **Производител, MHI (Mitsubishi Heavy Industries) →**

Термопомпа въздух-вода: Q-ton | ESA30EH2-25 за битова гореща вода (БГВ). Двустъпален компресор GSR. До 16 външни тела могат да се управляват от едно контролно устройство. Максимална мощност — 480kW. Възможен монтаж в големи нови жилищни сгради или в много големи жилищни сгради със съществуващи системи за централно отопление (ТЕЦ).



Co-funded by
the European Union



13.4 Регулаторно въздействие

Регламенти на ЕС относно хладилните агенти: законодателни актове, които се прилагат автоматично и са с пряка правна сила (или имат задължителна правна сила) за всички държави членки на ЕС; озоновият слой — задълженията по Монреалския протокол.

Регламент за Ф-газовете (F-gas Regulation): задължения по Протокола от Киото относно вещества, които допринасят за парниковия ефект. Този регламент има за цел да гарантира, че до 2030 г. европейските емисии на Ф-газове ще бъдат намалени с най-малко 60% спрямо нивата от 2005 г.

Директиви на ЕС: определят съществените изисквания. Държавите от ЕС носят отговорност за тяхното въвеждане в националното законодателство. За хладилните системи, термопомпите и техните компоненти най-важни са директивите за машините, оборудването под налягане, електрическото и електронното оборудване, енергийната ефективност и в някои случаи — потенциално експлозивната атмосфера.

Директива за машините 2006/42/ЕО (юни 2006 г.): определя изискванията, на които трябва да отговарят машините, предназначени за европейския пазар; съдържа голям брой изисквания за безопасност и опазване на здравето. Производителите са длъжни да изпълняват изискванията на Директивата.

Директиви ATEX (ATmosphère EXplosible): обхващат всички ситуации, при които съществува риск от експлозия на газ и прах.

Директива за енергийните характеристики на сградите (EPBD III, 2018): Тази директива има за цел да подобри енергийната ефективност на сградите и така да намали потреблението на енергия.

Общи директиви и регламенти: За хладилните системи и термопомпите важат и общоприложимите директиви на ЕС, които нямат специализиран отраслов характер.



Co-funded by
the European Union

