



Модул 3

Проектиране и интеграция на системи

Разработен от UMA (Университет на Малага)



Co-funded by
the European Union

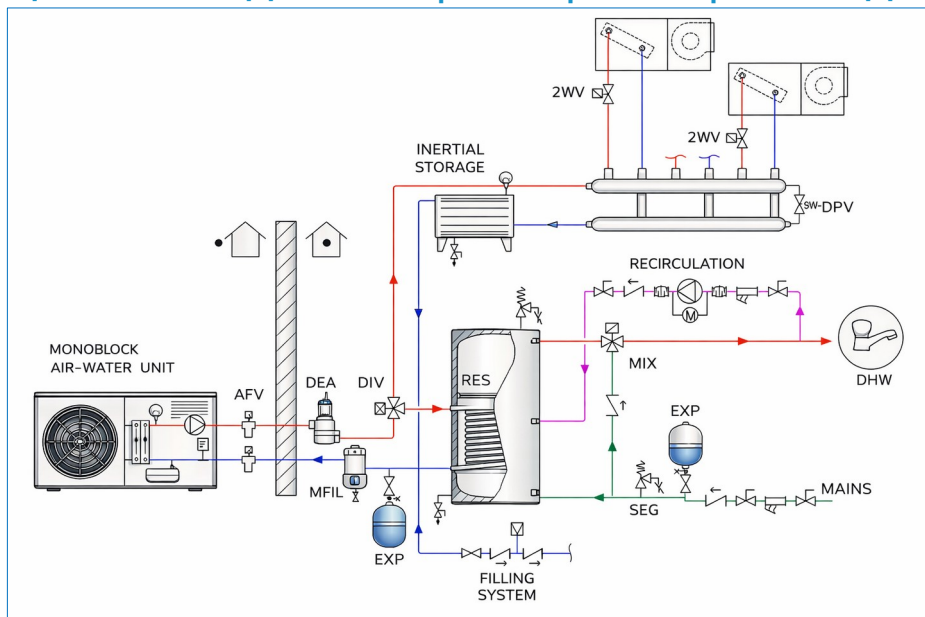


Co-funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or CINEA. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.



Модул 3 Общ преглед

Този модул измества фокуса от вътрешната термодинамична работа на термопомпите към тяхната интеграция в реални ОВК системи (отопление, вентилация и климатизация) на сградите. Термопомпата се анализира като компонент, взаимодействащ с излъчватели (отоплителни тела), акумулатори на енергия, хидравлика, системи за управление и други енергийни източници. Целта е да се разберат производителността, проектните ограничения и оперативното



До края на този модул ще разбирате логиката на схеми като тази на фигурата, която показва термopомпа тип „въздух-вода“, осигуряваща отопление, охлаждане и битова гореща вода.

Модул 3 Съдържание

Урок 14	Експлоатационни аспекти на термопомпите	Урок 20	Системна интеграция и стратегии за управление
Урок 15	Отоплителни тела (излъчватели) за термопомпени системи	Урок 21	Интеграция с други възобновяеми енергийни
Урок 16	Производство на битова гореща вода с термопомпи	Урок 22	източници Геотермални системи
Урок 17	Термопомпени системи		
Урок 18	Колекция от представителни системни схеми		
Урок 19	Оразмеряване на термопомпени системи		



Co-funded by
the European Union



УРОК 14

Експлоатационни аспекти на термопомпите



Co-funded by
the European Union



Урок 14 Цели

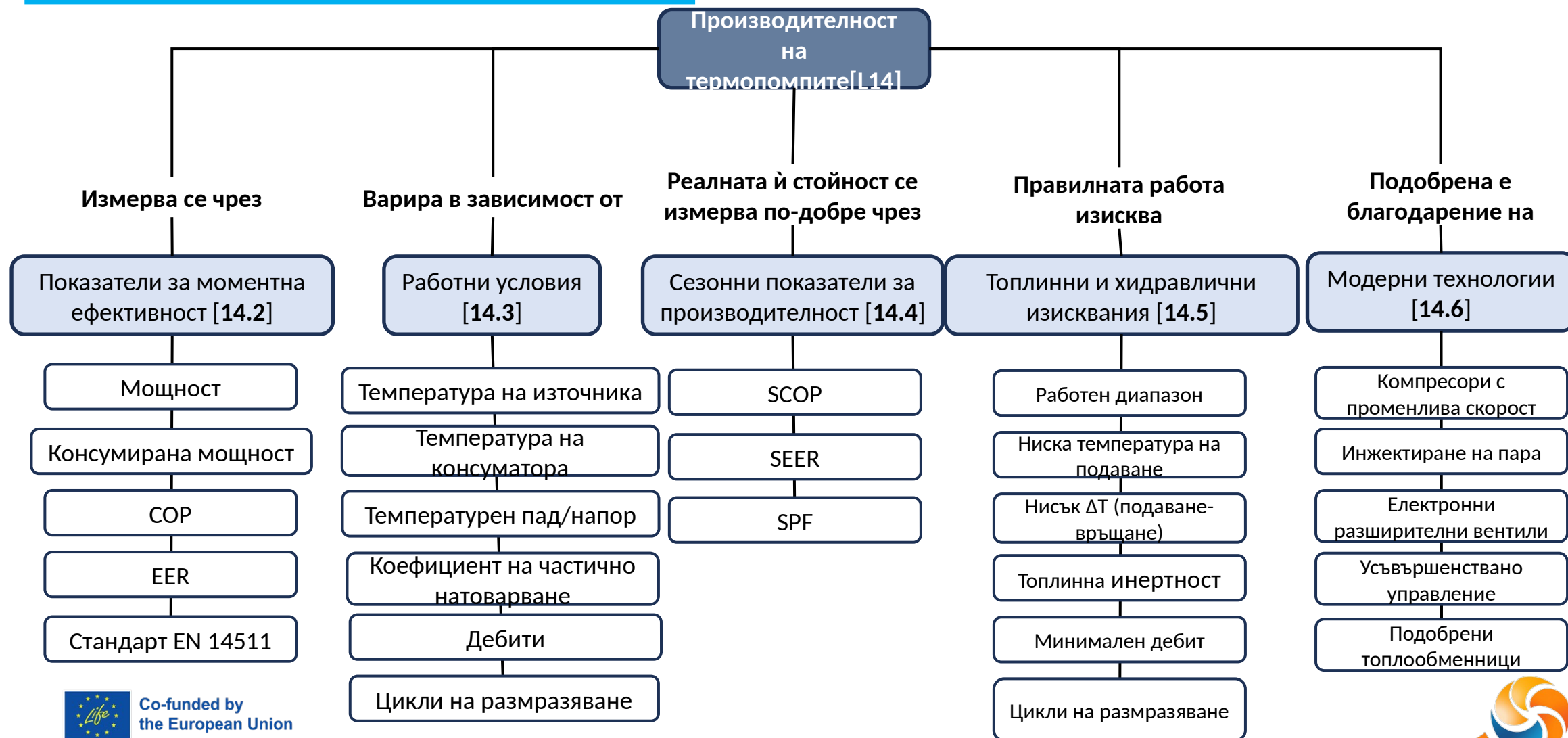
1. Анализ на критериите за производителност на термопомпите, в т.ч. значението на COP, EER и сезонните показатели, както и защо номиналните стойности не отразяват реалните работни условия.
2. Изучаване на влиянието на промените във външната температура, температурата на подаване, нивото на натоварване и режима на размразяване върху отоплителната и охлаждащата мощност, консумацията на електроенергия и общата ефективност.
3. Идентифициране на основните изисквания при проектирането на системи с термопомпи, като работни граници, температури на подаване, дебити и топлинна инертност, за осигуряване на стабилна работа и висока сезонна производителност.



Co-funded by
the European Union



Урок 14 Съдържание



14.1 Въведение

- Термопомпите се различават от конвенционалните котли по начина, по който тяхната ефективност реагира на работните условия.
- Котлите генерират топлина директно чрез изгаряне при много високи температури на пламъка, което прави тяхната ефективност сравнително нечувствителна към условията на околната среда. Например, много лесно е да се произведе вода с температура 70°C от пламък с температура 1500°C.
- За разлика от тях, термопомпите разчитат на пренос на топлина от източник с ниска температура към консуматор с по-висока температура. Тяхната работа е силно повлияна от работните условия: температура на източника, температура на консуматора, ниво на натоварване, необходимост от цикли на размразяване и стратегия на управление. Всички тези фактори влияят пряко както върху топлинната мощност, така и върху консумацията на електроенергия.
- Поради тази чувствителност, разбирането на експлоатационните аспекти е от съществено значение за правилния подбор и проектиране на термопомпени системи.



Co-funded by
the European Union



*Повече подробности: прочетете раздел
14.1*



14.2 Моментна ефективност при номинални условия

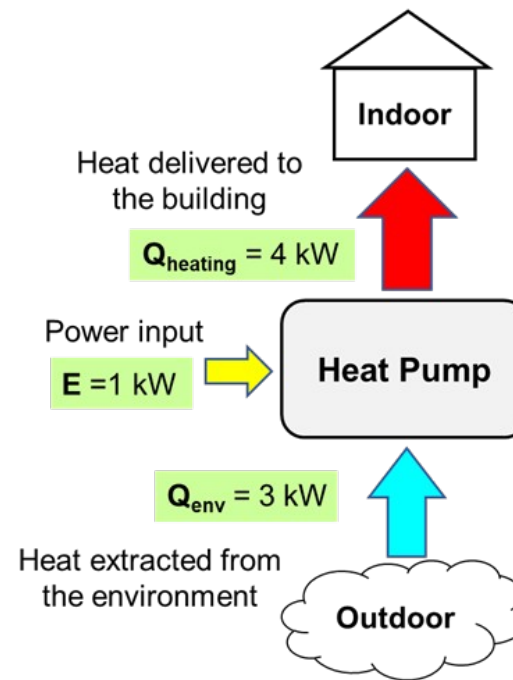
Ефективност (COP & EER)

Производителността на термопомпата се изчислява, като полезната топлинна мощност (Q) се раздели на консумираната електрическа мощност (E):

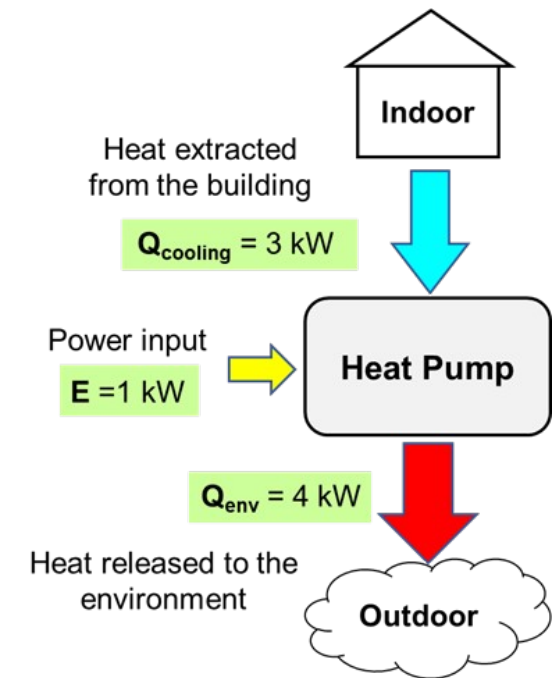
- В режим на отопление, ефективността се нарича **Коефициент на преобразуване (COP)** – съотношение на отоплителната мощност към консумираната електроенергия.
- В режим на охлаждане, тя се нарича **Коефициент на енергийна ефективност (EER)** – съотношение на охладителната мощност към консумираната електроенергия.

Тези показатели показват колко единици топлина се отдават или отнемат на всяка единица консумирана електроенергия. Тъй като термопомпите пренасят топлина, вместо да я генерират, стойностите на COP и EER могат да бъдат значително по-големи от единица (обикновено от 2,5 до 4).

COP=3 означава, че термопомпата може да отдаде 3 kW топлина за всеки 1 kW консумирана електроенергия (допълнителните 2 kW се извличат от околната среда, например от външния въздух).



$$COP = \frac{Q_{heating}}{E} = 4$$



$$EER = \frac{Q_{cooling}}{E} = 3$$



Co-funded by
the European Union



Повече подробности: прочетете раздели 14.2.1 и 14.2.2



14.2 Моментна ефективност при номинални условия

Стандарт EN14511 – номинални COP & EER

Стойностите на COP и EER зависят силно от работните температури, дебитите и условията на натоварване. За да се осигури **съпоставимост** между различните продукти, европейският стандарт EN 14511 определя специфични номинални условия, при които термопомпите трябва да бъдат тествани. Тези стандартизирани условия определят входните температури за топлинния източник и топлинния консуматор, както и дебитите и условията на влажност, където е приложимо.

Получените номинална мощност, номинална консумирана мощност и номинален COP или EER се посочват в каталозите на производителите и представляват типични работни условия.

Забележка: Номиналните стойности не описват

ефективността при екстремни или променливи условия. [Повече подробности прочетете раздел 14.2.3](#)

Пример: номинални условия за термопомпи въздух-въздух

Mode of operation	External heat exchanger		Internal heat exchanger	
	Dry Bulb Inlet °C	Wet Bulb Inlet °C	Dry Bulb Inlet °C	Wet Bulb Inlet °C
Heating	7	6	20	15 (max)
Cooling	35	24	27	19

Пример: номинални условия за термопомпи въздух-вода

Mode of operation	External heat exchanger		Internal heat exchanger	
	Dry Bulb Inlet °C	Wet Bulb Inlet °C	Inlet Temp. °C	Outlet Temp. °C
Heating – low temperature	7	6	30	35
Heating – intermediate temperature	7	6	40	45
Heating – medium temperature	7	6	47	55
Heating – high temperature	7	6	55	65
Cooling	35	-	12	7



Co-funded by
the European Union



14.2 Моментна ефективност при номинални условия

Тълкуване на каталог от производител

Информацията в таблицата е извлечена от търговския каталог на термopомпа тип „въздух-въздух“. При номиналната точка по EN 14511 (външен въздух 7°C, вътрешен въздух 20°C), термopомпата отдава **5,40 kW** отоплителна мощност, докато консумира **1,31 kW** електрическа мощност. Полученият COP е $5,4/1,31 = 4,12$. Около 4,09 kW от тази топлина се извлича от външния въздух, докато останалите 1,31 kW се осигуряват от електроенергията за компресора.

Този пример илюстрира: (1) енергийния баланс в номиналната точка и (2) пояснява, че COP представлява съотношението между общо отдадената топлина и консумираната електроенергия при специфични работни температури.

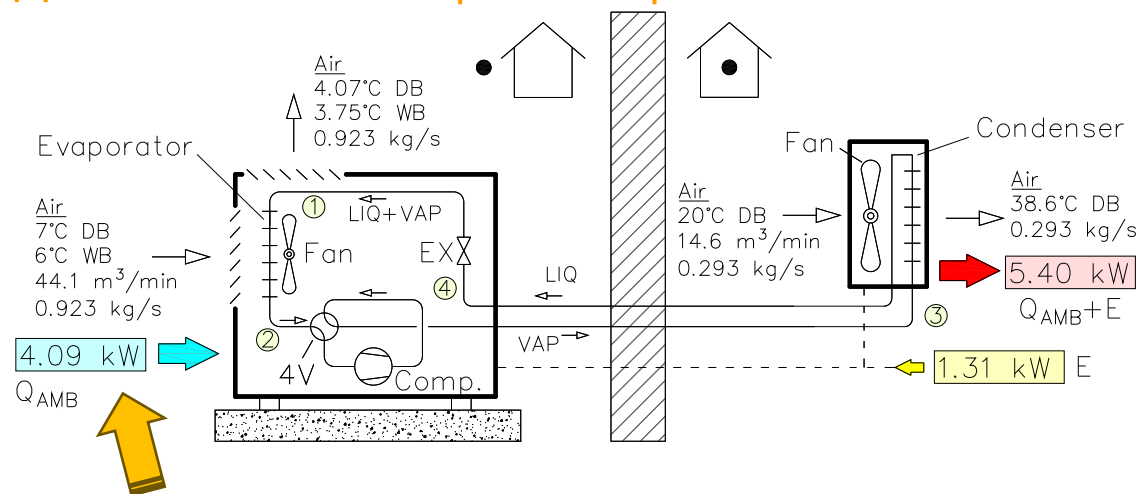
Номиналните стойности позволяват коректно сравнение между продукти, тествани при условия.

Повече подробности: прочетете раздел 14.2.4

Извлечение от каталог

Manufacturer	DAIKIN
Type of heat pump	Split air-air
Model (indoor unit + outdoor unit)	FTXA42AW + RXA42B
Refrigerant	R32
Rated heating capacity	5.40 kW
Rated power input	1.31 kW
Rated COP	4.12
Indoor unit fan flow rate	14.6 m ³ /min
Outdoor unit fan flow rate	44.1 m ³ /min

Детайлна схема на работен режим



Защо термopомпите могат да постигнат висока ефективност?
Защото те използват топлината от околната среда.

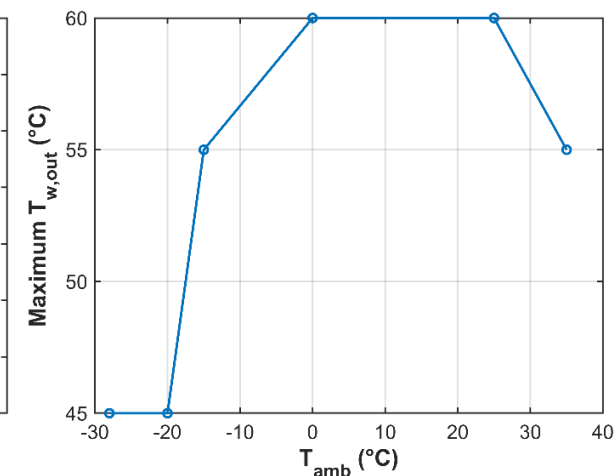
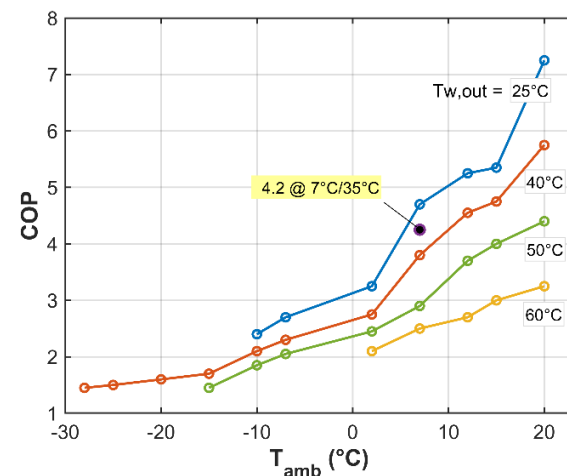
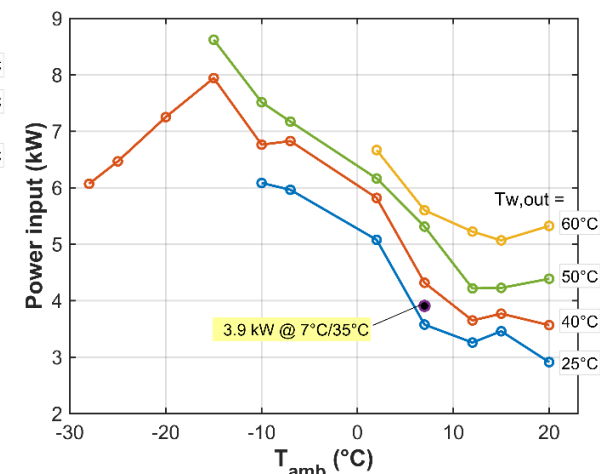
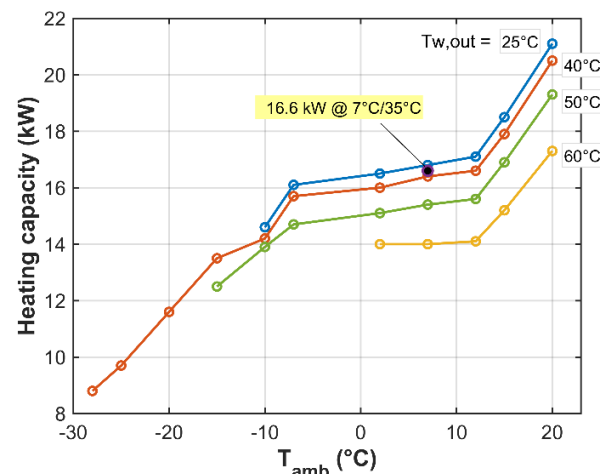
14.3 Моментна ефективност при експлоатационни условия (извън номиналните)

- При реална експлоатация термопомпите рядко работят при номинални условия.
- Външните температури варират постоянно, топлинните товари на сградата се променят, а термопомпата трябва да адаптира своята мощност съответно. В резултат на това отоплителната и охладителната мощност, консумацията на електроенергия и ефективността не са постоянни величини.
- Ето защо анализът на ефективността извън номиналните условия играе ключова роля за разбирането на поведението на термопомпата през цялата година и за гарантиране, че избраното устройство може да покрие нуждите дори при най-тежките условия.
- Отоплителната и охладителната мощност, консумацията на електроенергия и съответният COP (за отопление) или EER (за охлаждане) варират основно в зависимост от:
 1. Температурите на източника и консуматора, както и разликата между тях.
 2. Коефициента на частично натоварване.
 3. Необходимостта от цикли на размразяване

14.3 Моментна ефективност при експлоатационни условия (извън номиналните)

Ефект на температурите

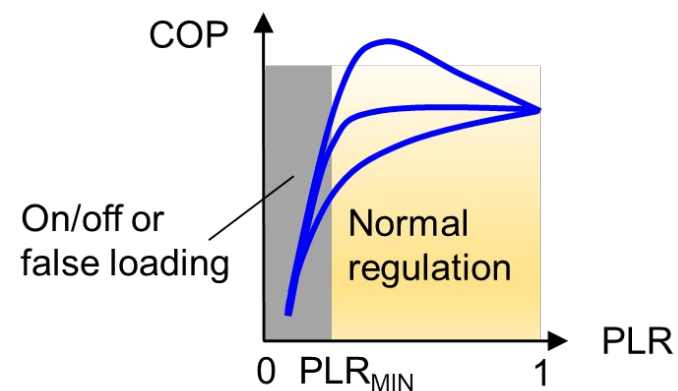
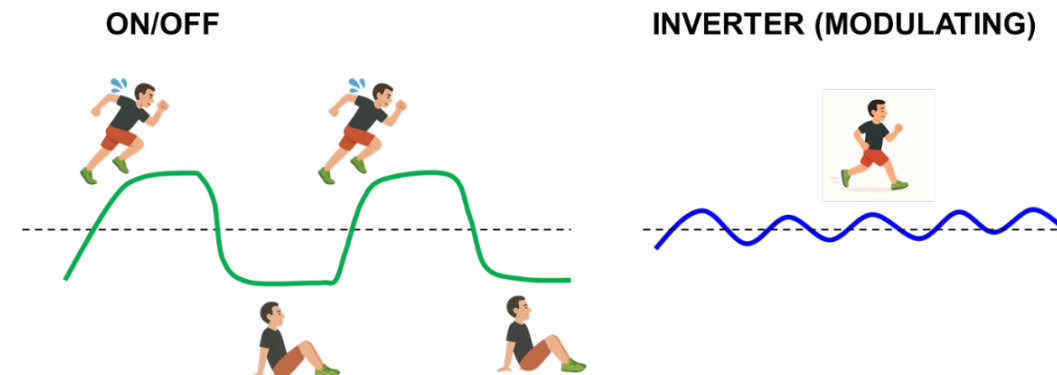
- Ключов фактор, влияещ върху ефективността, е температурният напор (temperature lift), дефиниран като разликата между температурата на кондензация (T_{cd}) и температурата на изпарение (T_{ev}) на хладилния агент.
- С увеличаване на температурния напор ($T_{cd} \uparrow$ и/или $T_{ev} \downarrow$), компресорът трябва да работи при по-висока степен на повишение на налягането (или по-високо компресионно отношение), което увеличава консумацията на електроенергия и намалява както отоплителната мощност, така и ефективността.
- Фигурата представя работните характеристики на търговска термопомпа „въздух-вода“.
- Обърнете внимание, че при по-ниска температура на околната среда (T_{ev}) или по-висока температура на изходящата вода (T_{cd}): мощността намалява ($\downarrow$) консумацията на електроенергия се увеличава ($\uparrow$) а COP намалява ($\downarrow$).



14.3 Моментна ефективност при експлоатационни условия (извън номиналните)

Ефект на частичното натоварване

- Друг важен аспект от работата извън номиналните условия е поведението при частично натоварване.
- Сградите обикновено изискват пълна отоплителна или охладителна мощност само при екстремни метеорологични условия; през по-голямата част от времето термопомпите работят при частично натоварване.
- Коефициентът на частично натоварване (PLR – Part Load Ratio) се дефинира като съотношение между действителния товар и наличния капацитет на термопомпата.
- Ако компресорът на термопомпата е от типа с постоянни обороти (fixed-speed), условията на частично натоварване се покриват чрез циклично включване и изключване (старт-стоп), което води до загуби на ефективност поради честите пускове.
- За разлика от тях, компресорите с инверторно управление регулират скоростта си, за да съответстват на товара, което позволява непрекъсната работа с намалени загуби и като цяло по-висока ефективност, особено при умерени коефициенти на частично натоварване.
- Компресорите с инверторно управление не могат да намалят скоростта си под около 30% от максималните обороти поради проблеми с връщането на маслото в хладилния кръг.



Co-funded by
the European Union



Повече подробности: прочетете раздел
14.3.2

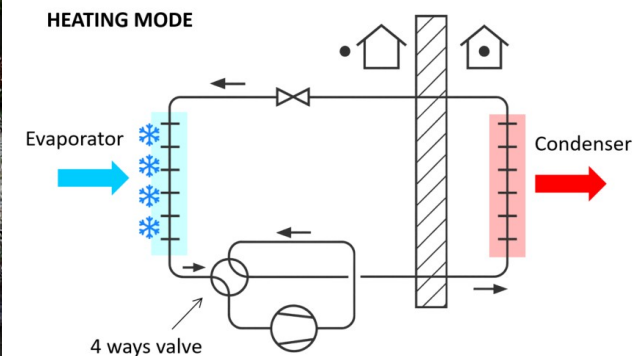


14.3 Моментна ефективност при експлоатационни условия (извън номиналните)

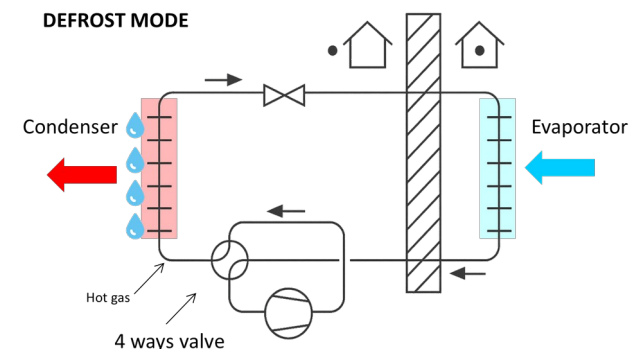
Ефект на циклите на размразяване

- Термопомпите „въздух-вода“ могат да се нуждаят от цикли на размразяване в режим на отопление, тъй като външният топлообменник действа като изпарител. Когато температурата на повърхността му падне под точката на оросяване на околния въздух, влагата от въздуха кондензира върху серпентината. Ако температурите паднат под нулата, този кондензат се превръща в лед, който блокира въздушните канали и влошава топлообмена.
- За премахване на леда системата периодично преминава в **режим на размразяване**. Най-често използваният метод е реверсиране на хладилния цикъл. По време на размразяването полезното отопление временно намалява или се прекъсва, а се консумира допълнителна енергия.
- Поради тази причина стандартът EN 14511 изисква работата в режим на размразяване да бъде включена при измерванията на ефективността в условия на

Образуване на скреж/лед във външното тяло



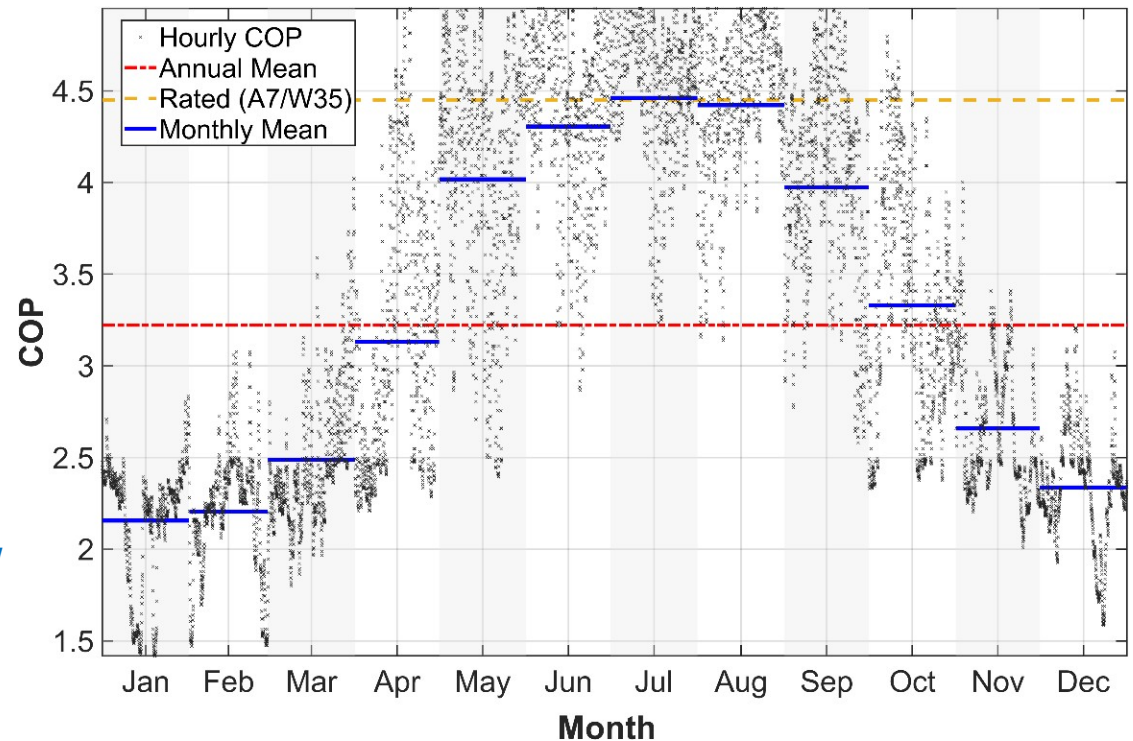
Реверсивен цикъл за размразяване на външното тяло, чрез изпомпване на топлина от сградата към външния топлообменник.



14.4 Показатели за сезонна ефективност

- Тъй като термопомпите работят при непрекъснато променящи се условия (температури, частично натоварване и евентуални цикли на размразяване), моментните стойности на COP или EER не могат да представят адекватно ефективността в реални условия.
- Показателите за сезонна ефективност адресират това ограничение, като интегрират полезната отдадена енергия и консумираната електрическа енергия за по-дълъг период (сезон, година и т.н.).
- Сезонният коефициент на преобразуване (SCOP) се използва за отопление, докато сезонният коефициент на енергийна ефективност (SEER) се използва за охлаждане.
- Тези показатели, дефинирани от стандарта EN 14825, отчитат работата при частично натоварване, климатичните условия и консумацията на електроенергия от спомагателни устройства. В резултат на това сезонната ефективност дава по-реалистична оценка на годишната ефективност и обикновено е по-ниска от номиналните стойности.

COP при различни времеви нива: моментен (в случая на час), месечен и годишен. Номиналната стойност е показана за справка.



$$SCOP = \frac{\sum_{period} Q_{heating}}{\sum_{period} E}$$

14.5 Термични и хидравлични изисквания към термопомпите

Термопомпите имат специфични термични и хидравлични работни изисквания, които трябва да бъдат спазени, за да се гарантират ефективност, надеждност и дълъг експлоатационен живот.

Правилното проектиране на системата трябва да отчита:

- Работния диапазон на машината;
- Температурите на подаващата и връщащата вода;
- Минималния дебит на водата;
- Минималната топлинна инертност на водния кръг.

Ако тези условия не са изпълнени, дори високоефективна термопомпа може да страда от ниска производителност, чести цикли на работа (старт-стоп) или защитни изключения.

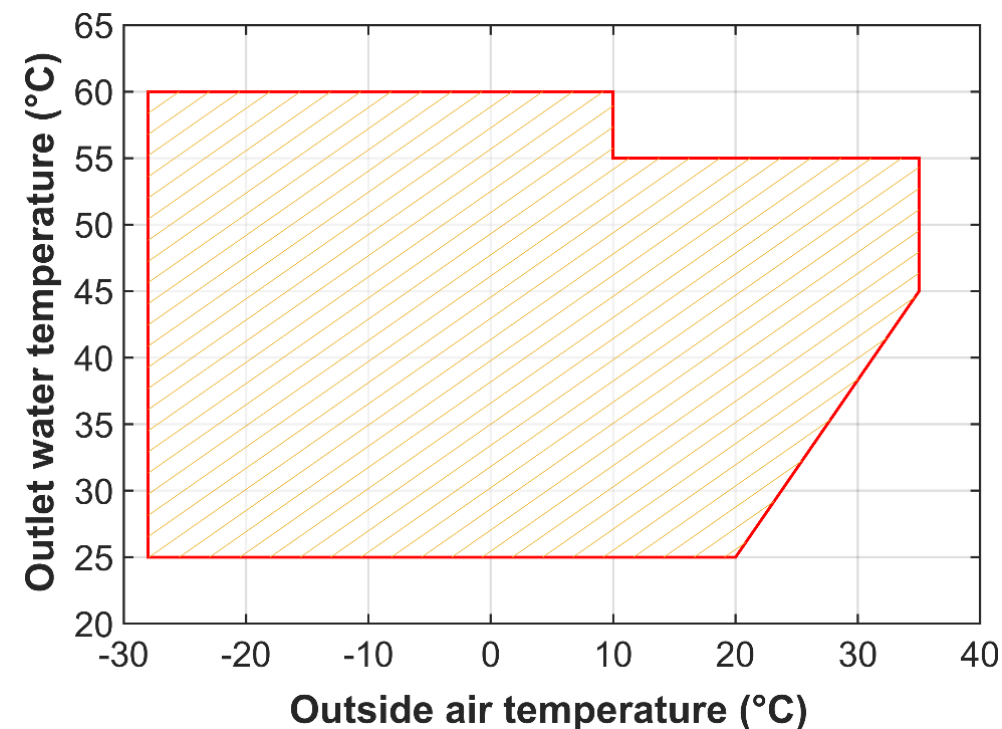
Този раздел представя ключовите конструктивни ограничения, които свързват термопомпата със системата за отопление или охлаждане.

14.5 Термични и хидравлични изисквания към термопомпите

Работен диапазон

- Термопомпите могат да работят надеждно само в рамките на дефиниран работен диапазон, който определя допустимите граници на температурите на топлинния източник и топлинния консуматор. Този диапазон се определя от ограниченията на налягането на компресора, свойствата на хладилния агент, както и от контролните и защитните ограничения.
- Работата извън тези граници води до бързо влошаване на ефективността и може да предизвика защитно изключване.
- Поради това правилното проектиране на системата трябва да гарантира, че термопомпата работи през по-голямата част от времето в рамките на благоприятните зони на работния диапазон, където ефективността е висока, а механичното натоварване е ограничено.

Работен диапазон на термопомпа



Co-funded by
the European Union



Повече подробности: прочетете раздел
14.5.1



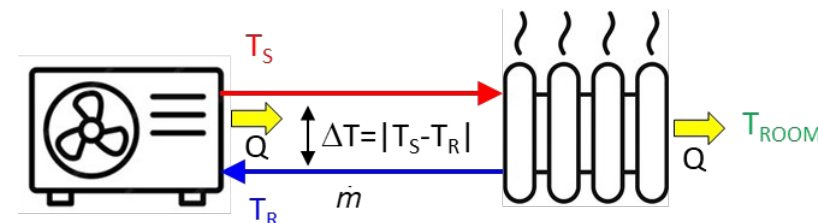
14.5 Thermal and hydraulic requirements of Heat Pumps

Температура на подаване и температурна разлика

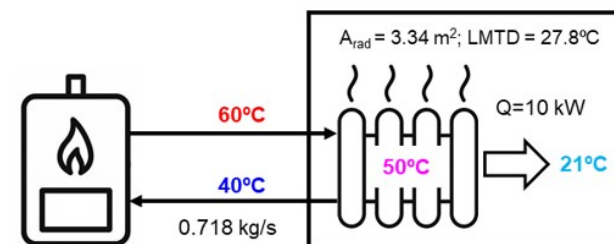
Температурата на подаване на отоплителната или охладителната система оказва голямо влияние върху ефективността на термопомпата.

- **Температура на подаване при отопление:** За термопомпени системи температурата на подаване трябва да се поддържа възможно най-ниска, докато се покрива товарът, тъй като по-ниските температури намаляват налягането на кондензация и подобряват COP. Типичните стойности са около 35°C за подово отопление, 45–55°C за радиатори и вентилаторни конвектори, и >50 °за битова гореща вода.
- **Температурна разлика (ΔT):** Типичните проектни стойности за ΔT са 5–10 K (при котлите са 20 K). По-големите температурни разлики намаляват температурния градиент между отоплителните тела и помещението, изисквайки по-големи отоплителни повърхности за постигане на същата топлинна мощност.
- **Режим на охлаждане:** При режим на охлаждане температурата на подаваната вода трябва да бъде възможно най-висока, за да се подобри EER чрез намаляване на работата на компресора. Типичните температури на подаване варират от 7–18 °C, с $\Delta T \approx 4–6$ K, в зависимост от терминалното устройство и изискванията за вътрешен комфорт и риска от конденз на вода върху студени повърхности.

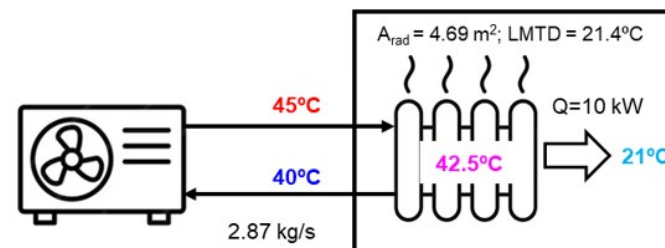
Температури на подаване и връщане и ΔT във водния кръг на термопомпата



Типични нива при системи с кондензни котли :



Типични нива при термопомпени системи:



14.5 Термични и хидравлични изисквания към термопомпите

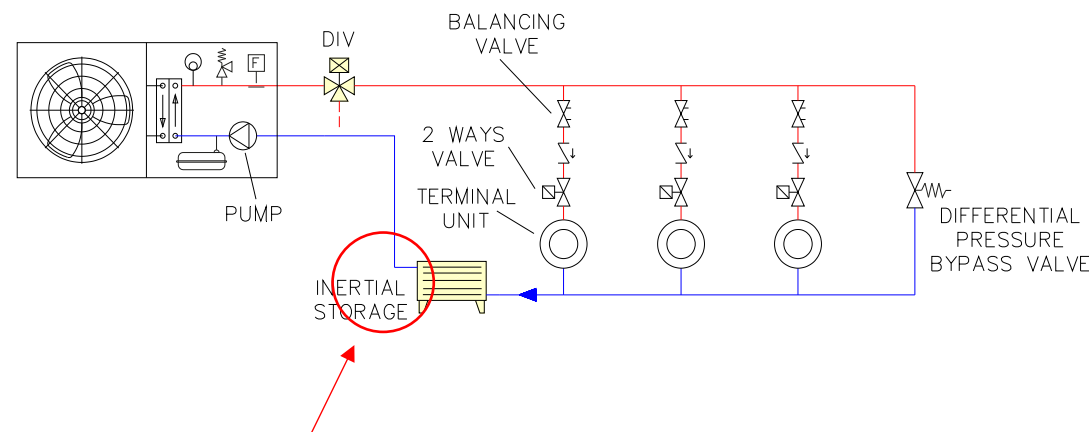
Минимален и номинален дебит, топлинна инертност

- Адекватният воден поток през топлообменника на термопомпата е от съществено значение за безопасната и ефективна работа. Всяко устройство има минимално допустим дебит, под който топлообменът става недостатъчен и може да настъпи повреда на компресора. Това изискване е много важно при хидравличното проектиране на водния кръг (Урок 17).
- За избягване на „кратък цикъл“ (често включване/изключване на компресора) е необходима достатъчна топлинна инертност във водния кръг, особено при работа с частично натоварване. Топлинната инертност може да бъде осигурена чрез обема на водата в самата система или чрез инсталиране на буферен съд. Производителят на термопомпата винаги посочва минималния воден обем, до който термопомпата трябва да има достъп по време на работа. Ориентировъчни стойности за съвременни термопомпи са 2.5 до 3.5 литра на kW.

Индикативен минимален воден дебит през термопомпата

Heat pump nominal power (kW)	3 – 4	5 – 6	7 – 8	9 – 10	11 – 12	14 – 16	18 – 25
Minimum flow rate as a percentage of the nominal flow rate	80 %	70%	60%	55%	50%	45%	40%

Пример за разпределителен воден кръг



Малък воден съд (например 30 литра за термопомпа с мощност 10 kW), който осигурява минимална топлинна инертност; повече подробности в Урок 17

УРОК 15

Отоплителни тела за термопомпени системи



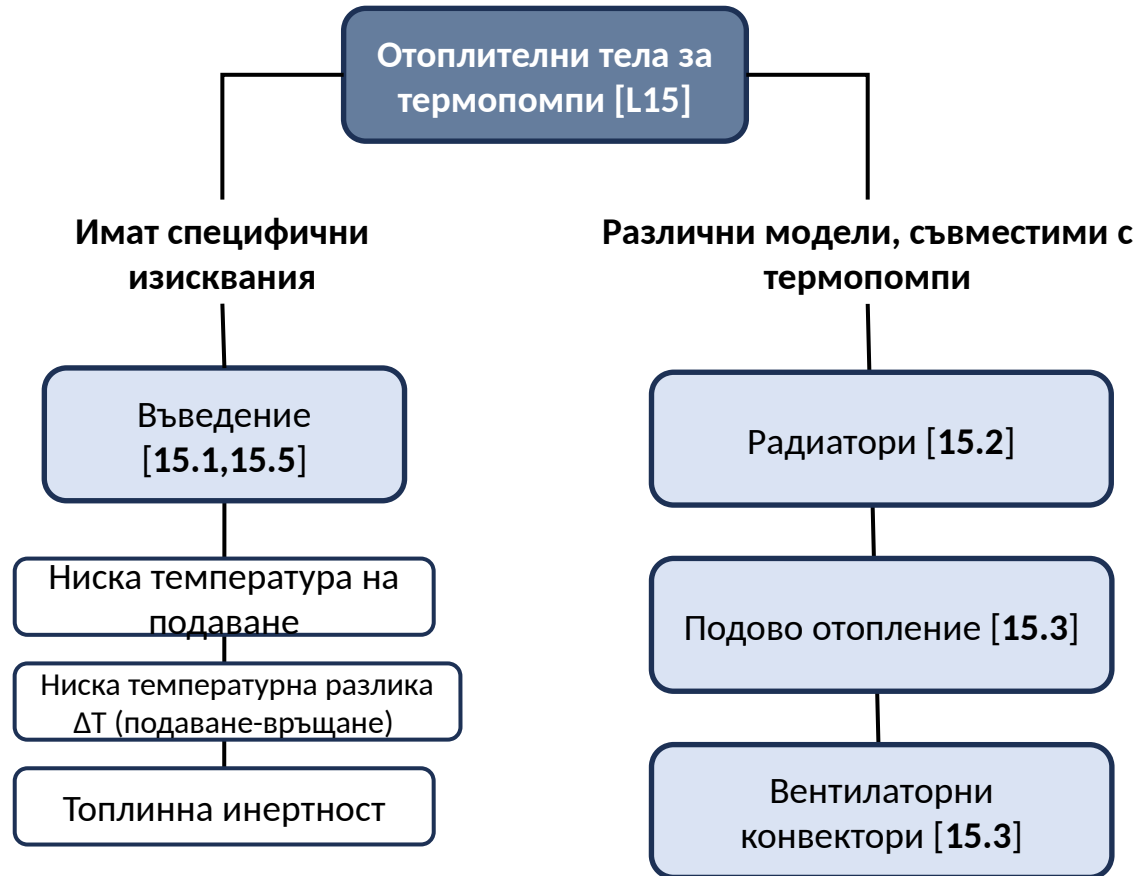
Co-funded by
the European Union



Урок 15 Цели

1. Да се разбере ролята на отоплителните тела в хидравличните термopомпени системи и как техните работни температури влияят върху общата ефективност на системата.
2. Да се сравнят радиатори, подово отопление и вентилаторни конвектори по отношение на механизмите за пренос на топлина, топлинната инертност и пригодността им за нискотемпературна работа на термopомпи.
3. Да се анализират последиците от реновирането на съществуващи високотемпературни системи за работа с термopомпи, включително влиянието върху топлинната мощност, дебита на водата и избора при проектиране на системата.

Урок 15 Съдържание



Co-funded by
the European Union



15.1 Въведение

- Отоплителните тела, са компонентите на водните отоплителни или охладителни системи, които пренасят топлинна енергия от водния кръг на термопомпата към климатизираните вътрешни помещения.
- Изборът им е от решаващо значение при проектирането, тъй като термопомпите работят най-ефективно при сравнително ниски температури на подаване ($<50^{\circ}\text{C}$)
- Типът на използваното отоплително тяло оказва пряко влияние върху цялостната производителност, сезонната ефективност и комфорта, осигурен от системата.
- При проекти за реновиране, отоплителните тела се превръщат в критично ограничение, тъй като системите, първоначално проектирани за високотемпературни котли, често трябва да работят при по-ниски температури, когато се инсталира термопомпа. Оценката на съвместимостта на съществуващите отоплителни тела е от съществено значение за техническата и икономическата осъществимост на реновирането.
- Този урок се фокусира върху най-често срещаните терминални устройства, използвани в термопомпените системи, и анализира тяхната пригодност както за нови инсталации, така и за проекти за реновиране.

15.2 Радиатори

Дефиниция

- Радиаторите са водни терминални устройства, в които загрята вода циркулира през метален корпус, отделящ топлина в помещението чрез комбинация от конвекция и топлинно излъчване. В жилищните сгради конвекцията обикновено заема най-голям дял от топлопредаването.
- Ефективността на радиаторите зависи от материала и конструкцията. Чугунените радиатори имат висока топлинна инертност и бавна реакция. Стоманените панелни радиатори показват умерена инертност и са широко използвани. Алюминиевите радиатори имат ниска топлинна инертност и бърза динамична реакция.
- Радиаторите традиционно се оразмеряват при температурна разлика ΔT от 50 °C, което съответства на високи температури на подаване, типични за котлови системи (ΔT е разликата между средната температура на радиатора и температурата на помещението)

Алюминиев радиатор (вляво), стоманен радиатор (в средата), чугунен радиатор (вдясно)



15.2 Радиатори

Топлинна мощност

- Топлинната мощност на радиатора зависи от общия коефициент на топлопредаване, излъчващата повърхност и температурната разлика между радиатора и помещението. Типичните коефициенти на топлопредаване варират от 10 до 15 W/m²K (конвекция + излъчване).
- Производителите обикновено предоставят топлинната мощност за един радиаторен елемент при различни стойности на ΔT. Например, при модела от фигурата, един радиаторен елемент излъчва 63,7 W при ΔT = 30 °C. За покриване на пиков отоплителен товар от 900 W ще бъдат необходими общо 15 елемента.
- Характеристичното уравнение, използващо степенен показател (n), обикновено между 1,25 и 1,35, позволява изчислението на необходимия брой елементи на радиатора при различни температурни разлики. Уравнението е:

$$Q = Q_{nom} \left(\frac{\Delta T}{\Delta T_{nom}} \right)^n$$

където n е степенният показател, който се дава в техническата документация на радиатора. n обикновено е между 1,25 и 1,35.

Повече подробности: прочетете раздел 15.2.1

Таблица с пример за оразмеряване на радиатор

Model	Heat emission					
	$\Delta T\ 20$	$\Delta T\ 30$	$\Delta T\ 40$	$\Delta T\ 50$	$\Delta T\ 60$	$\Delta T\ 70$
	W/elem.	W/elem.	W/elem.	W/elem.	W/elem.	W/elem.
350/100	28,6	48,0	69,4	92,4	116,8	142,3
500/100	37,6	63,7	92,7	124,0	157,2	192,1
600/100	43,5	73,8	107,3	143,5	181,9	222,3
700/100	48,3	82,6	120,9	162,5	206,8	253,6
800/100	52,7	90,3	132,4	178,2	227,1	278,8

Model	Code	Width	Height	Axis-axis	Length	Connection diameter	Water content	Exponent	Coeff
		(C) mm	(B) mm	(A) mm	(D) mm	inches	liter/elem.	n	Km
350/100	VC05xx014	97	407	350	80	G1	0,24	1,2818	0,613
500/100	VC05xx034	97	557	500	80	G1	0,27	1,3027	0,758
600/100	VC05xx044	97	657	600	80	G1	0,29	1,3015	0,882
700/100	VC05xx054	97	757	700	80	G1	0,35	1,3238	0,915
800/100	VC05xx064	97	857	800	80	G1	0,38	1,3301	0,979

15.2 Радиатори

Радиатори в проекти за реновиране

В проекти за реновиране радиаторите, първоначално проектирани за системи с котли, често работят при понижени температури, когато са свързани към термопомпа.

Пример:

Оригинална инсталация

Топлинен генератор: газов котел.

Температура на подаване/връщане: 70°C/50°C (ΔT на водата = 20°C).

Стайна температура = 20°C.

Температурна разлика радиатор – стая:

$$(\Delta T) = (70+50)/2 - 20 = 40^\circ\text{C}.$$

Топлинна мощност = **800 W**.

Воден дебит = $Q / (c_p \cdot \Delta T \text{ на водата}) = 0,57$ литра/мин.

Реновирана инсталация

Топлинен генератор: термопомпа.

Температура на подаване/връщане:

50°C/40°C (ΔT на водата = 10°C).

Стайна температура = 20°C.

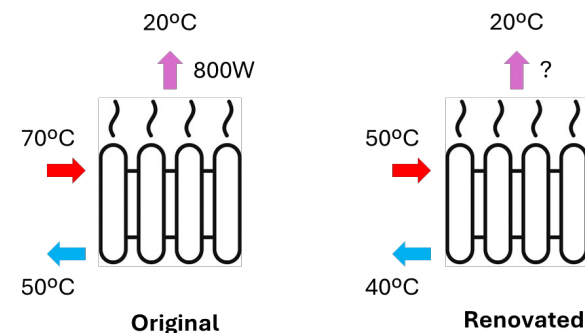
Температурна разлика радиатор – стая:

$$(\Delta T) = (50+40)/2 - 20 = 25^\circ\text{C}.$$

Топлинна мощност (приемайки $n=1.3$):

$$Q = 800 \left(\frac{\Delta T}{40} \right)^{1.3} = \left(\frac{25}{40} \right)^{1.3} = \mathbf{434.24\text{ W}}$$

Воден дебит = 0,62 литра/мин за новата мощност (Q) и ΔT на водата.



Съществуващите радиатори могат да се окажат подходящи, ако са оразмерени с излишък, ако топлинните нужди на сградата са намалени чрез изолация и подмяна на прозорци или ако са инсталирани допълнителни или вентилаторни отоплителни тела.

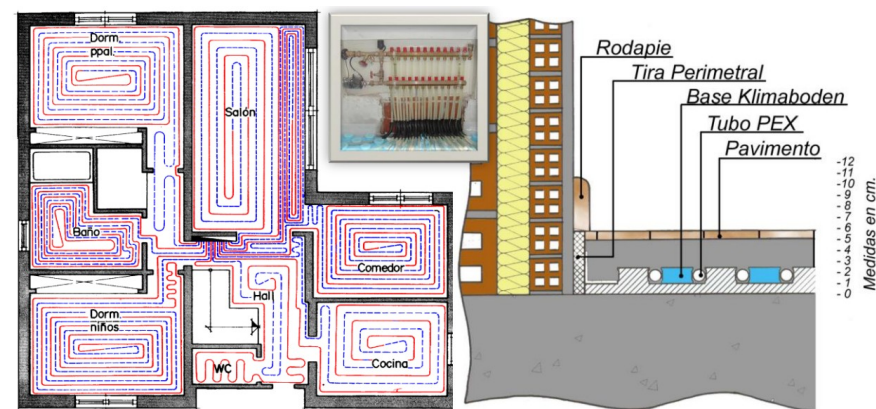
15.3 Подово отопление

- Подовото отопление е лъчисто устройство, при което топла вода циркулира през пластмасови тръби, вградени в пода на помещенията, пренасяйки топлина от голяма повърхност.
- Поради тази голяма площ, подовото отопление може да осигури адекватно отопление на помещенията при ниски температури на подаваната вода, обикновено между 30 °C и 45 °C.
- Максималните топлинни потоци обикновено варират от 50 до 70 W/m², което е достатъчно за повечето добре изолирани сгради.
- Температурата на подовата повърхност обикновено е ограничена до около 29 °C с оглед на комфорта и безопасността.
- Системите за подово отопление имат голяма топлинна маса и бавно време за реакция, често надхвърлящо един час, но те осигуряват много стабилни вътрешни температури и са силно съвместими с работата на термопомпи.

Пример за тръбна разводка в пода



Пример за разпределение на кръговете в къща

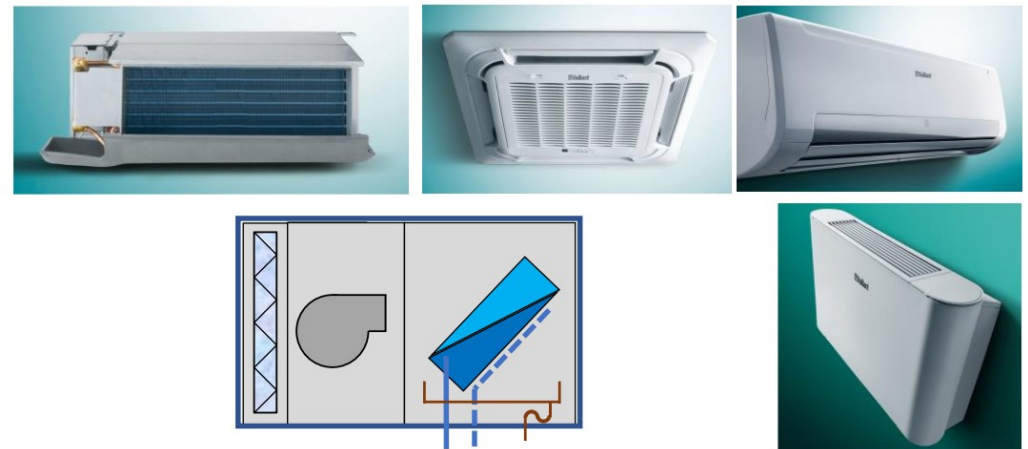


15.4 Вентилаторни конвектори

- Вентилаторните конвектори са терминални устройства във водни системи, които използват принудителна въздушна конвекция за пренос на топлина между водния кръг и въздуха в помещението.
- Те се състоят от ламелен топлообменник и вграден вентилатор, който активно движи въздуха през серпентината.
- В **режим на отопление**, съвременните вентилаторни конвектори могат да работят ефективно с температура на водата 45–50 °C, което ги прави подходящи за термопомпени системи.
- В **режим на охлаждане**, вентилаторните конвектори обикновено използват студена вода с температура приблизително 7–12 °C, което позволява както явно охлаждане, така и изсушаване на въздуха чрез кондензация.

Тази двойна функционалност прави вентилаторните конвектори особено полезни в системи, които изискват целогодишно отопление и охлаждане.

Различни модели вентилаторни конвектори
(източник: ATECYR)



Co-funded by
the European Union



15.5 Температурни нива

Термопомпените системи работят при значително **по-ниски температурни нива от традиционните системи с котли.**

- Радиаторите, адаптирани за термопомпи, обикновено използват температури на подаване и връщане около 55 °C/45 °C, докато вентилаторните конвектори работят при приблизително 45 °C/40 °C в режим на отопление.
- Системите за подово отопление обикновено работят при 30 °C/25 °C.
- За приложения, свързани с охлаждане, подовите обикновено работят близо до 15 °C/20 °C, докато вентилаторните конвектори изискват по-студена вода, обикновено между 7 °C и 12 °C, за да се осигури ефективно охлаждане и изсушаване на въздуха.

Тези пониже
на термопом

Приложение	ТРАДИЦИОННИ (Подаване/връщане °C)	АДАПТИРАНИ ЗА ТЕРМОПОМПА (Подаване/връщане °C)
Битова гореща вода(първичен кръг)	80/60	60/50(*)
Радиатори	60/40	55/45
Вентилаторни конвектори	50/40	45/40
Подово отопление (отопление)	35/30	30/25
Подово отопление (охлаждане)	14/18	15/20
Хладилна техника	7/12	10/15

(*) може да бъде намалено в домакинствата

ефективност

← най-добрия
вариант за
комбиниране
с
термопомпа.



Co-funded by the European Union



Повече подробности: прочетете раздел
15.5



УРОК 16

Производство на битова гореща вода с термопомпи



Co-funded by
the European Union



Урок 16 Цели

1. Разбиране на предизвикателствата при производството на битова гореща вода с термопомпи, по-специално несъответствието между моментното потребление на гореща вода и ограничената топлинна мощност и време за реакция на битовите термопомпи.
2. Идентифициране и описание на основните компоненти на подсистемите за битова гореща вода в термопомпени инсталации: акумулиращи съдове, топлообменници, смесителни вентили, рециркулационни кръгове и спомагателни нагреватели, с внимание към температурните нива и хигиенните изисквания.
3. Прилагане на практически принципи за оразмеряване и основни аналитични методи за избор на подходящи обеми за съхранение на битова гореща вода и капацитети на термопомпи, като се вземат предвид профилите на потребление на потребителите, времето за възстановяване, енергийната ефективност и ограниченията за превенция на легионела.



Co-funded by
the European Union



Урок 16 Съдържание

Производство на битова гореща вода с термопомпи [L16]

Потреблението на гореща
вода е периодично и с
пикове, което изисква
съхранение.

Подготвя се в
подсистема, съставена
от множество
компоненти

Простите системи се
проектират лесно

Съществуват по-
изчерпателни методи

Съществуващ риск

Специализирани
термопомпи са
налични за БГВ

Термопомпи за БГВ
[16.6]

Въведение
[16.1]

Базова подсистема за БГВ
[16.2]

Ориентировъчни
правила за
оразмеряване [16.3]

Аналитично
оразмеряване [16.4]

Превенция на
легионела [16.5]

Акумулиращ съд

Термостатичен вентил

Рециркуляционен кръг

Спомагателен елемент

Обем на съда (V)

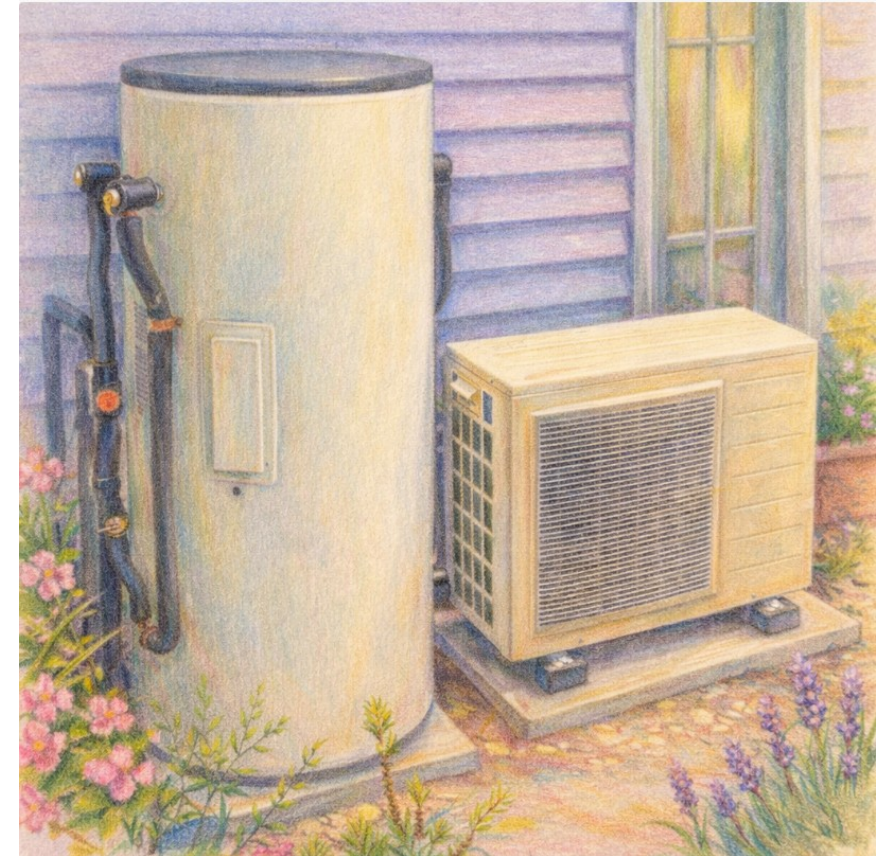
Мощност на
термопомпата (P)

16.1 Въведение

- Битова гореща вода, съкратено БГВ, се отнася до доставката на гореща вода за битови нужди за санитарни цели, като душове, мивки и домакински уреди.
- В жилищните сгради горещата вода, доставяна в точката на потребление, обикновено е с температура между 40 °C и 45 °C, докато по-високи температури са необходими по време на подготовката, за да се гарантира хигиената и адекватният капацитет за съхранение.
- При термопомпените системи производството на БГВ поставя специфични предизвикателства, тъй като търсенето на гореща вода е силно периодично и концентрирано в кратки периоди, докато термопомпите доставят сравнително ниска и постоянна топлинна мощност.
- Поради тази причина системите за битова гореща вода, използващи термопомпи, **винаги разчитат на акумулиращи съдове** за съхранение на топлина, които действат като енергийни буфери между производството и потреблението.

16.1 Въведение

- Една битова термопомпа обикновено осигурява топлинна мощност от около 5 до 10 kW.
- Един душ изисква много по-голяма моментна отоплителна мощност. Например, ако искате душ с дебит 12 л/мин при температура от 45 °C, при положение че студената вода от водопровода е 10 °C, системата трябва да осигури моментна топлинна мощност от около 30 kW. За 5-минутен душ общото енергийно потребление е приблизително 2,44 kWh.
- Тъй като термопомпата не може да достави тази мощност моментално, енергията трябва да се съхранява предварително.
- Акумулиращите съдове в еднофамилните къщи обикновено варират от 180 до 250 литра, което позволява няколко последователни душа, докато термопомпата постепенно зарежда съда.

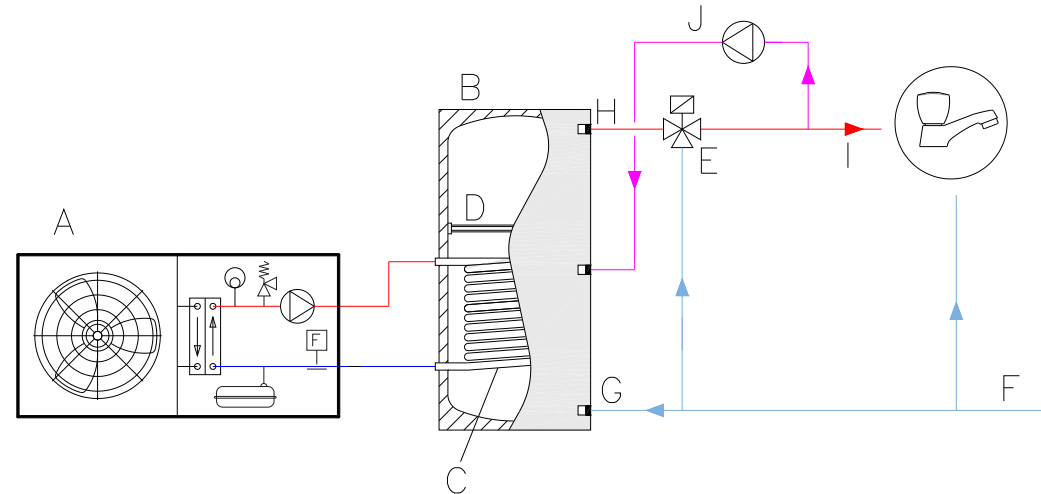


Термопомпа въздух/вода с акумулиращ съд за гореща вода



16.2 Базова подсистема за БГВ

- Подсистемата за битова гореща вода на термопомпената инсталация се състои от няколко ключови компонента.
- Термопомпата (**A**) пренася топлинна енергия към акумулацията съд чрез вътрешен или външен топлообменник (**C**), обикновено серпентина, потопена в съда.
- Акумулацията съд поддържа горещата вода при типична зададена температура от 50–55 °C и е проектиран да насърчава термичната стратификация (слоесто разпределение), при която горещата вода се акумулира в горната част, а по-студената вода остава в долната част.
- Спомагателен електрически нагревател (**D**) често е интегриран, за да подпомага при пиково търсене или да повишава температурата на водата над 60 °C за хигиенна дезинфекция.
- Термостатичен смесителен вентил (**E**) след съда смесва горещата (**H**) и студената вода (**F**, от водопроводната мрежа), за да осигури безопасна температура на водата към крановете и душовете (**I**).
- Рециркулационният кръг (**J**) използва малка помпа, за да циркулира гореща вода през разпределителната мрежа независимо от потреблението, като гарантира, че водата в тръбите остава гореща и е незабавно достъпна на всяка точка.



Типичен кръг за битова гореща вода с термопомпа въздух/вода

16.3 Ориентировъчни правила за оразмеряване

Обем на акумулация съд (V)

- Акумулацият съд за битова гореща вода действа като енергиен буфер и неговият обем трябва да бъде съобразен с нуждите на домакинството.
- Общоприето европейско ориентировъчно правило е да се предвидят между 35 и 45 литра съхранена гореща вода на човек при температура от около 55 °C.
- За **малко домакинство от един до двама души**, съд с обем 100–150 литра често е достатъчен.
- **Средните домакинства с трима до четирима обитатели** обикновено се нуждаят от 180–200 литра, което може да осигури два до три последователни 5-минутни душа при дебит от 12 л/мин.
- **Големите домакинства с петима или повече обитатели** често използват съдове с обем 250–300 литра.
- Термопомпените системи обикновено изискват малко по-големи съдове от системи с котли, поради по-ниската си мощност на зареждане (с 50 литра повече за термопомпи)

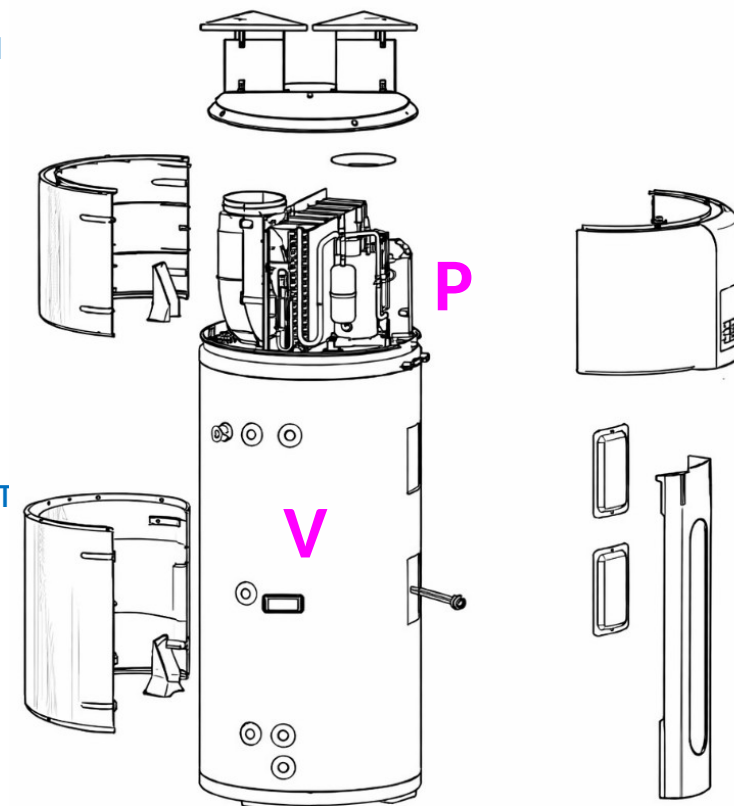


Съдове с различни
размери

16.3 Връзка между обема на съда и мощността на термопомпата

Мощност на термопомпата (P)

- Връзката между обема на съда и мощността на термопомпата зависи от желаното време за възстановяване, дефинирано като времето, необходимо за повторно загряване на съда след пълното му изпразване.
- За типично повишаване на температурата с 40 K, практическа зависимост е, че са необходими приблизително 22 литра обем за съхранение на всеки киловатт мощност на термопомпата за всеки час време за възстановяване.
- Например, 2-часово възстановяване изисква около 40–45 л/kW, докато по-бавно 4-часово възстановяване може да изисква повече от 80 л/kW.



Акумулиращ съд за
гореща вода към
термопомпа

Време за възстановяване (часа)	Типично V/P (литра БГВ/kWt)	Коментар
1	20–25 L/kW	Бързо възстановяване
2	40–45 L/kW	Желателно за битови системи
3	60–65 L/kW	
4 +	80 L/kW и повече	Голямо пиково потребление и по-бавно възстановяване



Co-funded by
the European Union



Повече подробности: прочетете раздел
16.3.2



16.4 Аналитично оразмеряване и концепция за пиково потребление

В раздел 16.4 от документацията е описан опростен аналитичен метод за по-подробно проучване на връзката между обема и топлинната мощност. Изучаването на този метод е по желание.

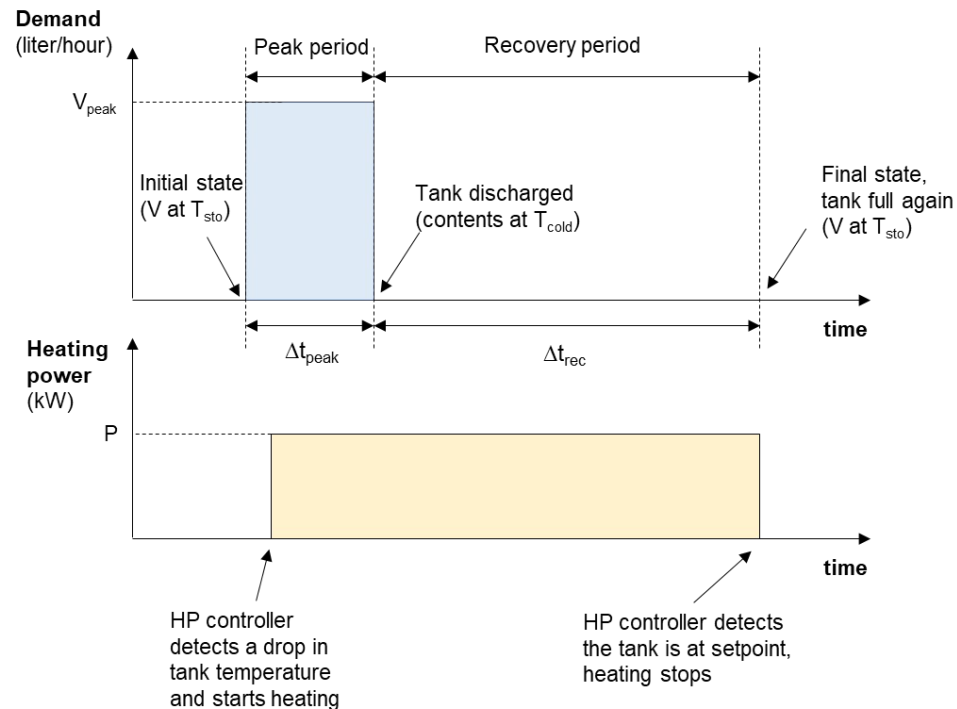


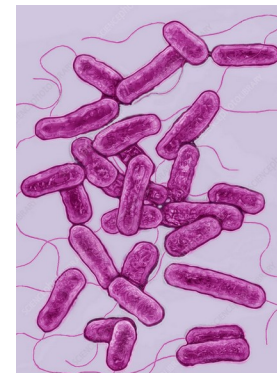
Table 16-4. Example of application of the method. Grey shadow = user input

VARIABLE		VALUE	UNIT	DATA SOURCE/CALCULATION FORMULA
DEMAND AND TEMPERATURES				
A	Reference hot water consumption	4032	liter/day	National regulations
B	Reference temperature	60	°C	National regulations
C	Storage temperature (T_{sto})	55	°C	50°C typical residences, >60°C public buildings
D	Final use temperature (T_{use})	40	°C	Outlet temperature of the tap
E	Cold water temperature	10	°C	Minimum temperature of mains water at the site
F	Daily hot water consumption at T_{sto}	4480.0	liter/day	$=A*(B-E)/(C-E)$
G	Daily hot water consumption at T_{use}	6720.0	liter/day	$=A*(B-E)/(D-E)$
PEAK AND RECOVERY SCENARIOS				
H	% of daily consumption at peak period	60.0%		Calculation hypothesis
I	Peak consumption	2199.3	liter	$=H*F$
J	Duration of peak period	1	hours	Calculation hypothesis
K	Duration of recovery period	3	hours	2 to 4 hours typical
L	Response time of the heat pump	5	min	5 min typical
OTHER DATA				
M	Demand increase due to thermal losses	1.25		>1.25 (sometimes much more if bad insulation)
N	Utilization factor of the storage	0.86		Typical 0.86
STORAGE VOLUME AND HEAT PUMP POWER				
O	Total storage volume	4000	liter	User decision (typical between I and A)
P	HP capacity for peak period	-4.56	kW	$= (M*I-N*O)*4.18*(C-E)/((J-L/60)*3600)$
Q	HP capacity for recovery period	69.67	kW	$= O*4.18*(C-E)/K/3600$
R	HP capacity	69.67	kW	$= \text{Maximum}(P,Q)$
S	HP capacity	57.42	liter/kW	$= O/R$

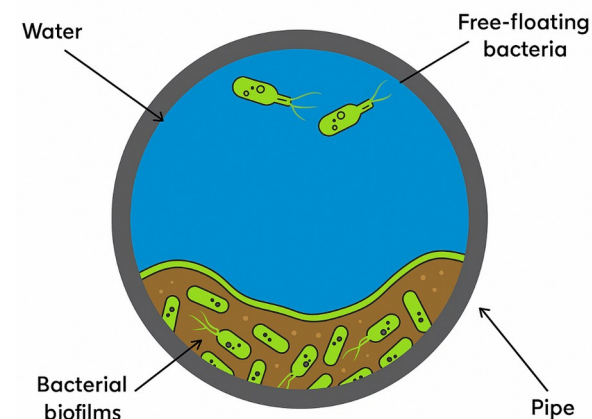
16.5 Превенция на легионела

- *Legionella pneumophila* е бактерия, която може да се размножава в системи за гореща вода, когато температурите остават между 20 °C и 45 °C.
- Системите за битова гореща вода с акумулиращи съдове и рециркуляционни кръгове са особено уязвими поради зони на застояла вода и температурни градиенти.
- За намаляване на риска, повечето нормативни документи изискват температури на съхранение от най-малко 60 °C и температури на рецикулация над 50–55 °C.
- Често са задължителни периодични цикли на термична дезинфекция, които повишават температурата на водата над 70 °C.

Тези изисквания създават предизвикателства за термопомпите, които са най-ефективни при по-ниски температури и може да изискват спомагателни нагреватели (електрически) или специални конструкции за висока температура.



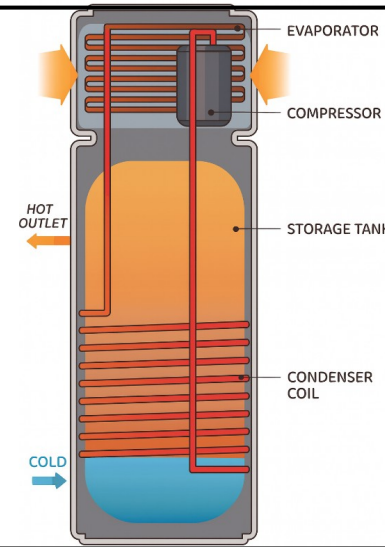
Legionella pneumophila



Растеж на бактериите в биофилм

16.6 Термopомпи за БГВ

Специализираните термopомпи за битова гореща вода интегрират термopомпата и акумулацията в един компактен модул, обикновено с обеми за съхранение между 150 и 300 литра. Тези системи често са въздушни и извличат топлина от външния въздух, вътрешния въздух или отработения вентилационен въздух. Те се използват широко в еднофамилни къщи поради лесния монтаж и предвидимата си работа.



За големи или регулирани сгради, като хотели и болници, **високотемпературните термopомпи, използващи хладилни агенти като CO₂**, могат да произвеждат вода с температура 70–90 °C, позволявайки ефективно производство на БГВ при пълно спазване на изискванията за превенция на легионела.

Термopомпа за производство на гореща вода Mitsubishi QTON CO₂



Co-funded by
the European Union



УРОК 17

Термопомпни системи



Co-funded by
the European Union



Урок 17 Цели

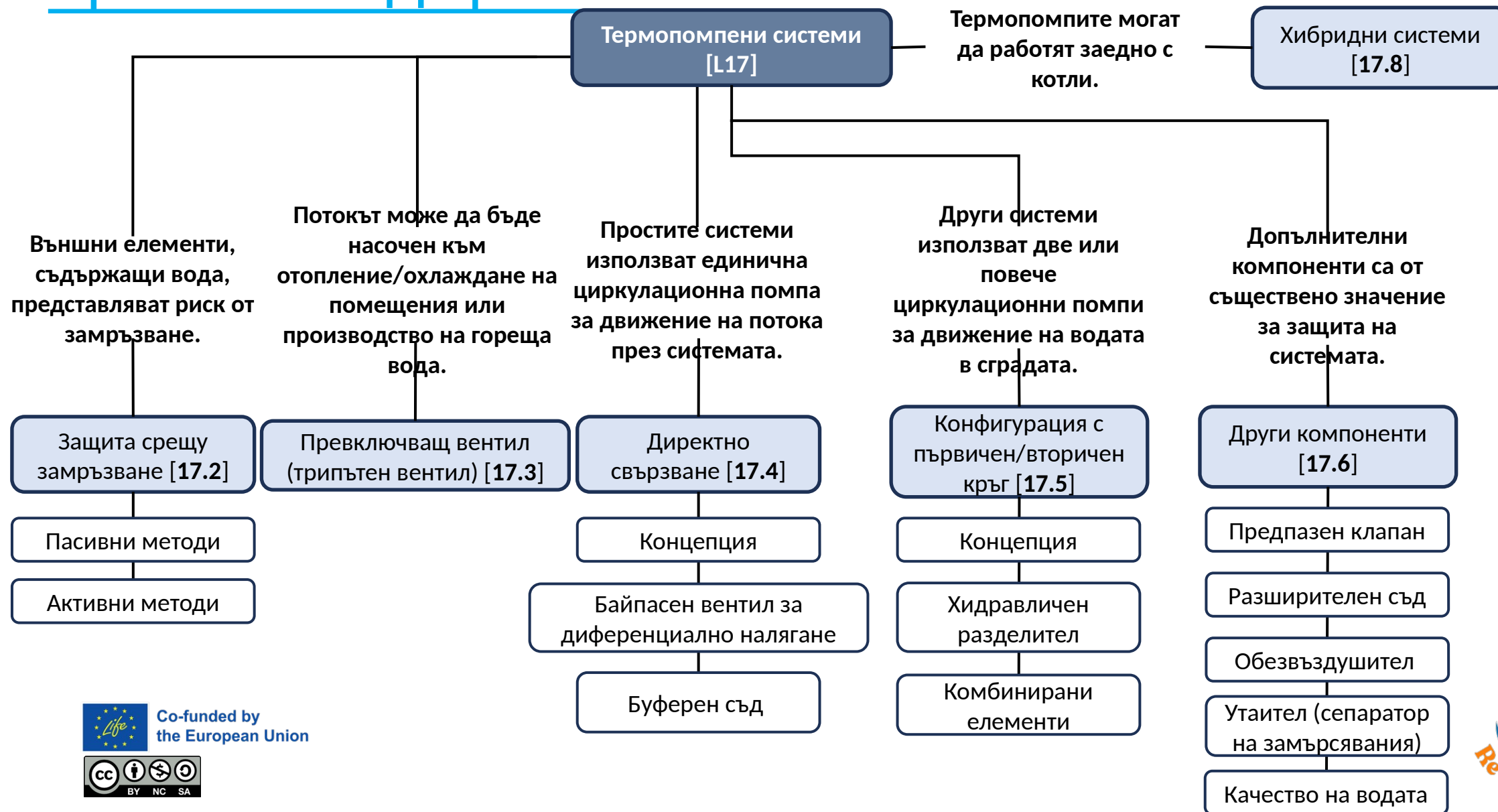
1. Да се идентифицират основните хидравлични компоненти, използвани в термopомпените системи, и да се разберат техните функции за осигуряване на безопасна, стабилна и ефективна работа (циркуляция, защита, разделяне и управление).
2. Да се разберат различните хидравлични конфигурации (директно свързване, първичен-вторичен кръг, използване на буферни съдове и хидравлични разделители) и критериите за избор на подходяща схема.
3. Да се анализират стратегиите за защита и надеждност на системата, включително методите против замръзване, осигуряването на минимален дебит, контрола на налягането, отстраняването на въздух и замърсявания, както и тяхното влияние върху дългосрочната ефективност.



Co-funded by
the European Union



Урок 17 Съдържание



17.1 Въведение

- Термопомпените системи изискват набор от хидравлични компоненти, които свързват термопомпата с топлинните товари на сградата, включително отопление на помещенията, охлаждане на помещенията и производство на битова гореща вода.
- Тези компоненти осигуряват правилна циркулация на водата, разпределение на топлината, хидравлична стабилност, контрол на налягането, отстраняване на въздух и замърсявания, управление на качеството на водата и защита срещу замръзване.
- Правилното интегриране е от съществено значение за гарантиране на стабилна работа, предотвратяване на повреди в термопомпата и осигуряване на дългосрочна надеждност.

Този урок е насочен към хидравлични системи със затворен кръг, които обикновено се използват при термопомпи въздух-вода и земя-вода.

17.1 Въведение

Термопомпените инсталации за водни кръгове могат да бъдат базирани на термопомпи тип „земя-вода“ или „въздух-вода“, които могат да бъдат в моноблокова или сплит конфигурация. От хидравлична гледна точка често се използват две основни схеми:

- При системи с директно свързване термопомпата е свързана директно към разпределителната мрежа на сградата, като споделя един и същ дебит (има само една циркуляционна помпа).
- При по-сложните системи се използват първичен и вторичен кръг, хидравлично разделени чрез буферен съд или хидравличен разделител, което позволява на термопомпата и разпределителната мрежа да работят с независими дебита.

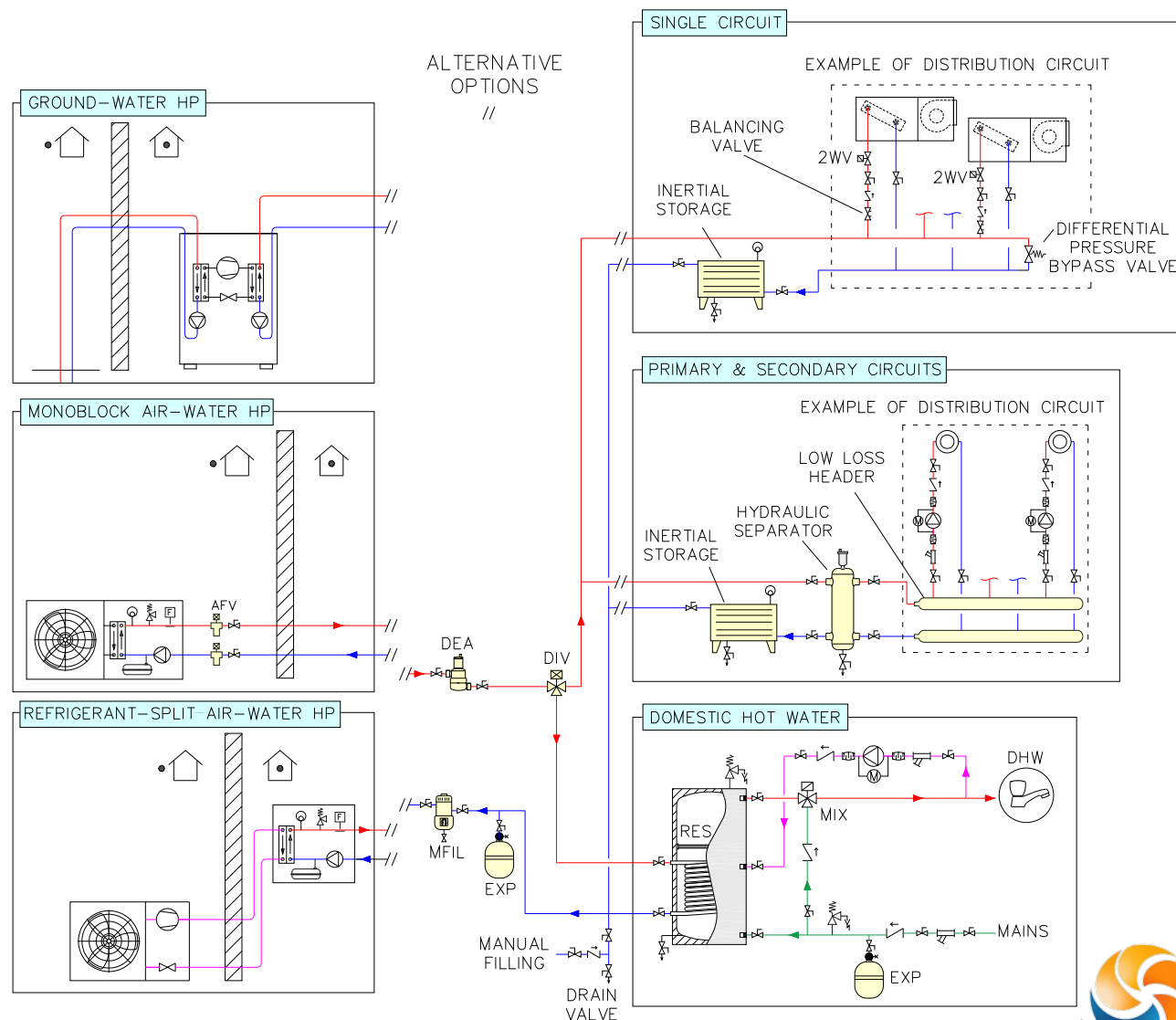
Специализирана подсистема за битова гореща вода (БГВ), включваща акумулиращ съд и топлообменник, обикновено се свързва паралелно, както беше разгледано в Урок 16.



Co-funded by
the European Union



Повече подробности: прочетете раздел 17.1

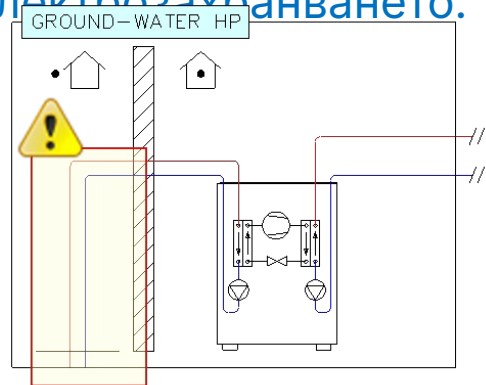


17.2 Защита срещу замръзване

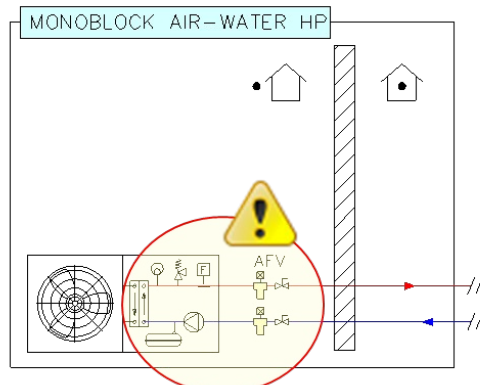
Риск от замръзване съществува навсякъде, където пълни с вода компоненти са изложени на външни температури под 0 °C, като например при моноблокови термопомпи „въздух-вода“ и кръгове със земен топлообменник. Докато хладилните агенти замръзват при изключително ниски температури (например -136 °C за R32 или -78 °C за CO₂), водата замръзва при 0 °C и може да причини сериозни повреди чрез разкъсване на тръби или напукване на пластинчатия топлообменник.

Стратегиите за защита срещу замръзване могат да бъдат:

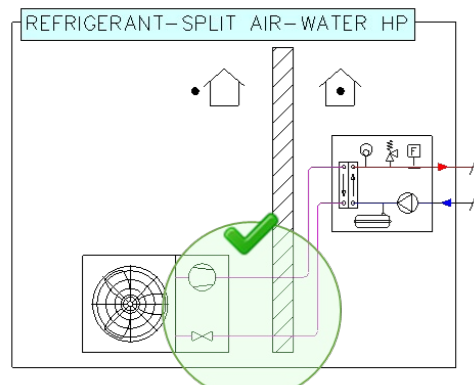
- **Активни**, изискващи електрическо захранване, или
- **Пасивни**, осигуряващи присъща защита дори по време на прекъсване на електрозахранването.



Risk of freezing



Risk of freezing



No risk of freezing
(refrigerant lines)

Хладилен агент	Точка на замръзване
Вода	0 °C
R134a	-103.3 °C
R410A	-155 °C
R32	-136 °C
R290	-188 °C
R717	-78 °C
R744	-78.5 °C

17.2 Защита срещу замръзване

Активната защита срещу замръзване включва:

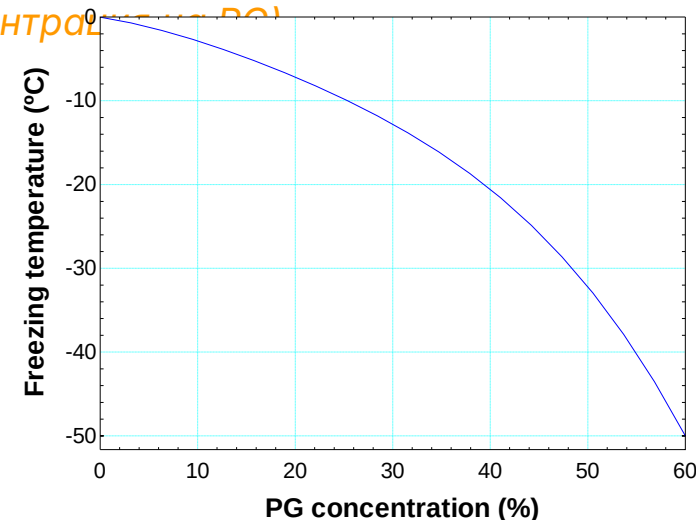
- Периодично пускане на водната циркуляционната помпа.
- Работа на компресора на ниски обороти, за да се поддържа температурата на водата във външните тръби над 5 °C (за кондензатор, разположен отвън).
- Използване на електрически подгриващи кабели (trace heaters) по дължината на тръбите и около топлообменника хладилен агент-вода.

Тези методи са ефективни само когато има достъп до електрозахранване.

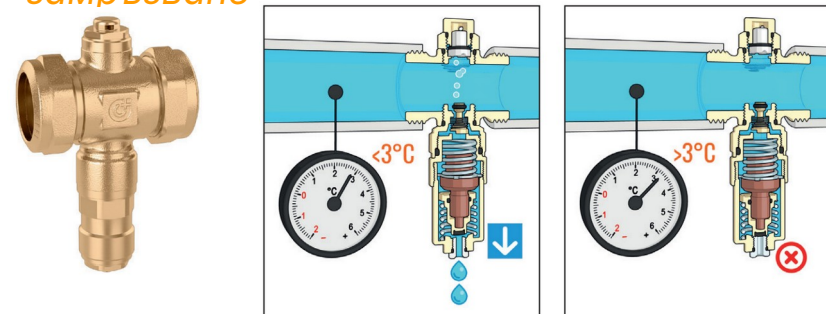
Пасивната защита използва:

- Смеси с пропиленгликол: Например, 40% разтвор на пропиленгликол осигурява защита срещу замръзване до около -20 °C. Гликолът се използва често в земни топлообменници и селективно във външните кръгове на термопомпи „въздух-вода“.
- Клапани против замръзване: Защитават външните кръгове чрез източване на водата, когато температурите се доближат до точката на замръзване. Тези клапани обикновено се отварят при около 3 °C и се затварят отново над 4 °C. Изискват се

Пасивен метод 1: Използване на вода + пропиленгликол (PG) във външния воден кръг (Графика: Температура на замръзване спрямо концентрация на PG)

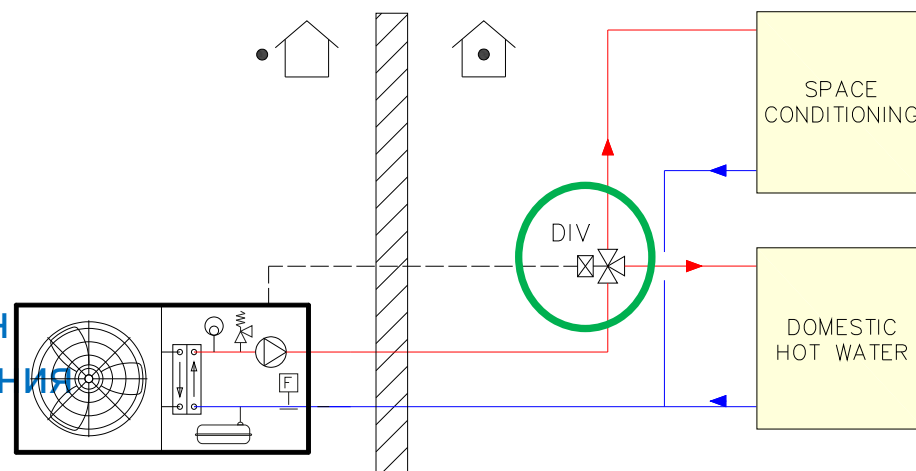
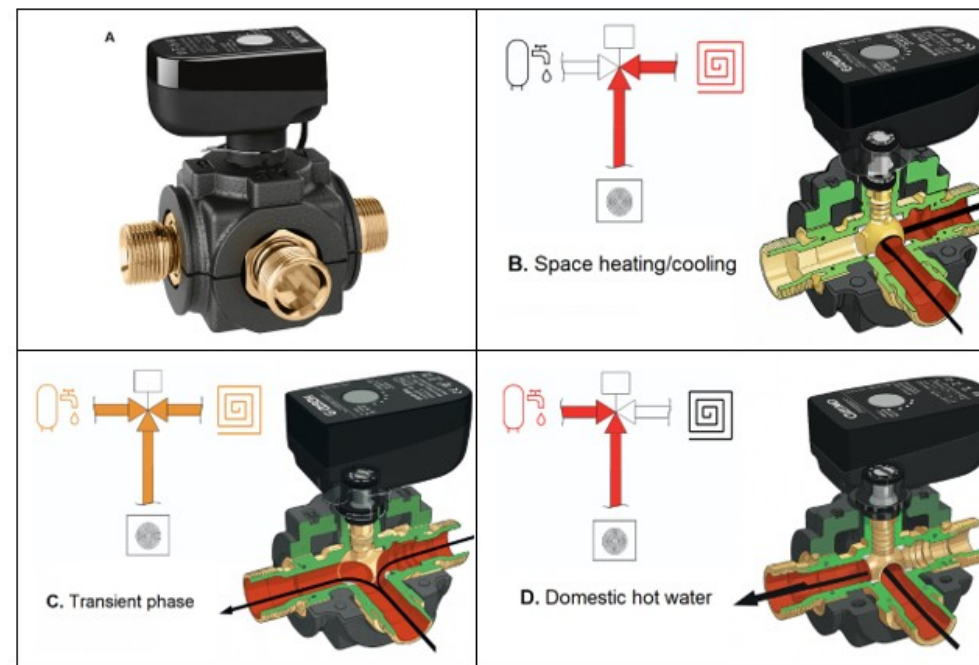


Пасивен метод 2: Клапани против замръзване



17.3 Превключващ вентил (DIV)

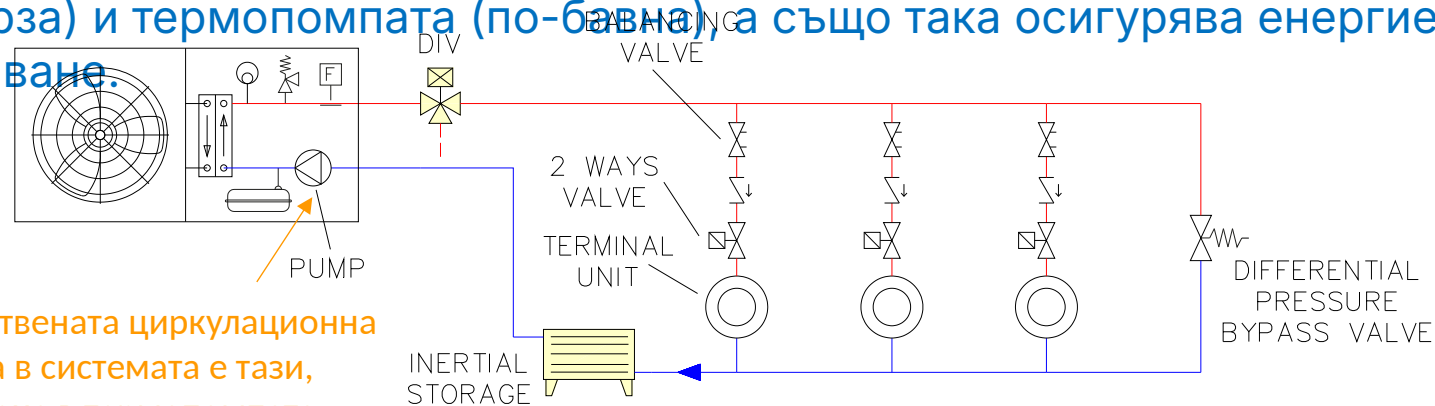
- Превключващите вентили са моторизирани трипътни вентили, които насочват изхода на термopомпата или към отопление и охлаждане на помещенията, или към производство на битова гореща вода.
- Битовата гореща вода обикновено е с приоритет, тъй като нуждата от нея е незабавна и не може да бъде отложена. Когато температурата в бойлера падне под зададената стойност, превключващият вентил насочва целия изход на термopомпата към бойлера за БГВ, обикновено при 55–60 °C.
- След като бойлерът се загрее отново, вентилът се превключва обратно към климатизация на помещенията, където подаваните температури обикновено са 35–45 °C за отопление и 7–12 °C за охлаждане.
- Съвременните системи могат да прилагат частичен приоритет, за да се избегнат прекомерни прекъсвания на отоплението на помещенията.



17.4 Директно свързване

Концепция

- Най-лесният начин за интегриране на термопомпа в системата за отопление или охлаждане на сграда е директното свързване към разпределителните тръби. Вградената циркуляционна помпа на термопомпата изтласква водата през цялата разпределителна мрежа.
- Това решение е подходящо само когато помпата осигурява достатъчен напор и когато системата винаги може да поддържа минималния дебит, изискван от термопомпата. Типичните минимални стойности на дебита се определят от производителите и трябва да се спазват, за да се избегнат повреди или неизправности (виж Урок 14.5.3).
- Когато разпределителните вентили се затварят при условия на частично натоварване, дебитът в системата може да падне под този минимум, което изисква допълнителни хидравлични мерки.
- В тази верига се появяват два нови компонента: (1) байпасен вентил за диференциално налягане, който гарантира необходимия минимален дебит през термопомпата, и (2) инерционен акумулиращ съд (буферен съд), който компенсира разликата във времето за реакция между разпределителната мрежа (обикновено бърза) и термопомпата (по-бавна), а също така осигурява енергиен резервоар за циклите на размразяване.



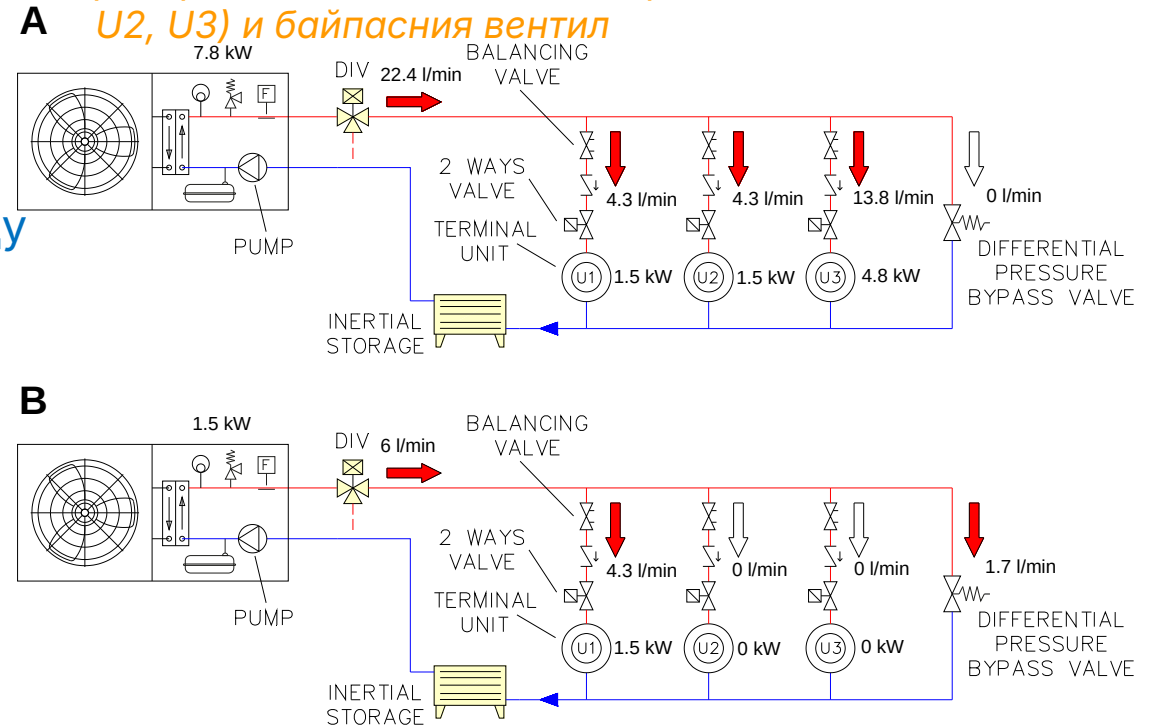
Единствената циркуляционна помпа в системата е тази, вградена в термопомпата

17.4 Директно свързване

Байпасен вентил за диференциално налягане

- Този вентил осигурява минимален дебит, като отваря байпас, когато разликата в налягането между подаващата и връщащата линия се повиши над зададена стойност, което показва, че няколко крайни консуматора са затворени.
- Например (фигурата): ако термopомпата изисква поне 6 л/мин и само една зона остава отворена с консумация от 4,3 литра/мин, байпасният вентил се отваря, за да пропусне липсващите (1,7 литра/мин) дебит.
- Настройката на вентила се регулира така, че той да остане затворен по време на нормална работа и да се отваря само при условия на нисък дебит.
- Байпасният вентил обикновено се монтира на Т-образно съединение на тръбопровода, свързващо главното подаване с главната връщаща линия, обикновено след последния колектор или разклонение към отоплително тяло.

Функция на байпасния вентил (А и В): Схеми, показващи разпределението на дебита през отоплителните тела (U1, U2, U3) и байпасния вентил



Търговски модел (източник: CALEFFI): Изображение на конкретни модели вентили.

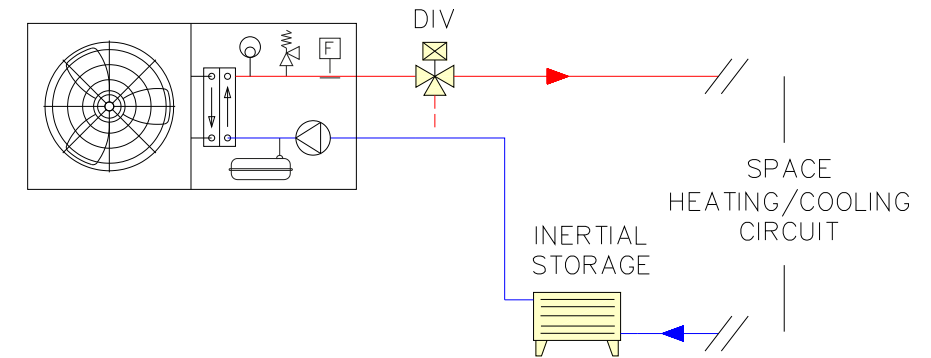


17.4 Директно свързване

Инерционен (буферен) съд

- Термopомпите също така изискват минимален воден обем, за да се гарантира стабилна работа и да се осигури енергия по време на циклите на размразяване.
- Производителите обикновено посочват 5–7 литра вода на kW мощност на термopомпата като абсолютен минимум. На практика инерционните съдове често се измерват на 10–20 л/kW, за да се подобри температурната стабилност и да се предотврати честото включване и изключване („short cycling”), причинено от бързи движения на разпределителните вентили.
- Осигуряването на този минимум по всяко време, независимо колко отоплителни зони са отворени или затворени, обикновено изисква инсталирането на инерционен съд.

Повече подробности прочетете в раздел 17.4.3



Източник:
<https://futureenergia.es>



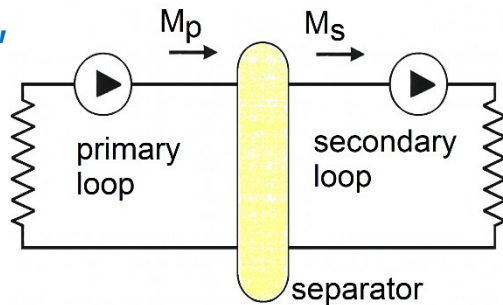
Co-funded by
the European Union



17.5 Конфигурация с първичен и вторичен кръг

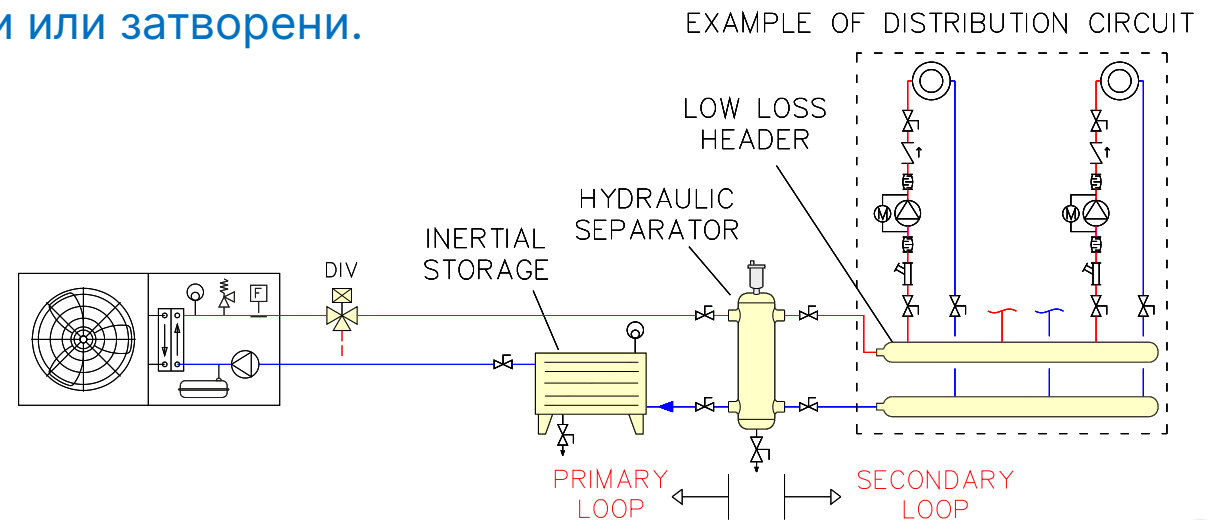
Концепция

- Конфигурациите „първичен-вторичен кръг“ се използват, когато циркулационната помпа на термопомпата не може да преодолее хидравличното съпротивление на разпределителната мрежа.
- **Първичният кръг** обслужва термопомпата със собствена циркулационна помпа, докато **вторичният кръг** захранва отоплителните тела, използвайки независими помпи.
- Хидравличен разделител свързва двата кръга, позволявайки пренос на топлина, без да принуждава и двата кръга да работят при еднакъв дебит. Тази конфигурация осигурява стабилна работа, **ако са отворени или затворени.**



✓ Мислете за първичния и вторичния кръг като за два пътя, свързани чрез кръгово кръстовище. Всеки път има своя скорост и обем на движение, но кръговото кръстовище позволява на превозните средства да се прехвърлят от единия път на другия, без да принуждава двата пътя да имат еднакви условия на движение.

Повече подробности: прочетете раздел 17.5



Co-funded by
the European Union

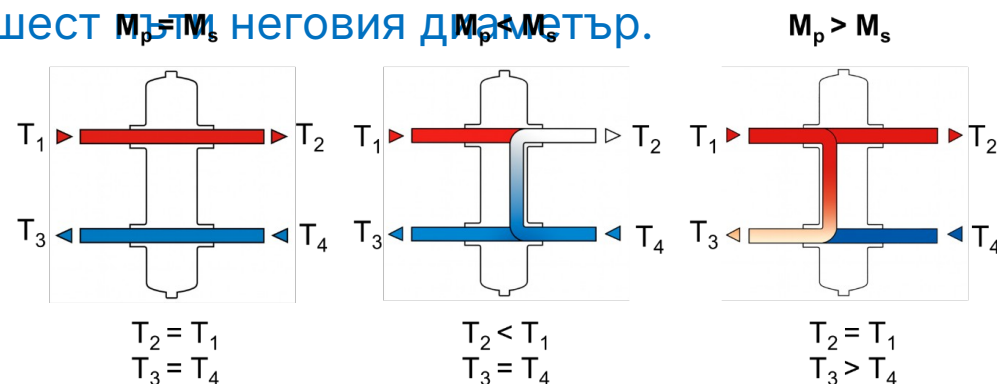


17.5 Конфигурация с първичен и вторичен кръг

Хидравличен разделител

Хидравличният разделител е съд с голям вътрешен диаметър, който намалява скоростта на водата под около 0,2 м/сек, създавайки пренебрежим спад на налягането между кръговете. Това позволява независима работа на помпите и също така дава възможност за отделяне на въздух и замърсявания.

Диаметърът на разделителя се избира въз основа на максималния дебит или чрез практическото правило, че неговият диаметър трябва да бъде грубо три пъти по-голям от диаметъра на най-голямата свързана тръба. Типичната височина на разделителя е четири до шест пъти неговия диаметър.



Схеми: Изобразени са три сценария на работа на разделителя: при равен дебит ($M_p = M_s$), при по-малък първичен дебит ($M_p < M_s$) и при по-голям първичен дебит ($M_p > M_s$).

17.6 Други компоненти

Спомагателните компоненти осигуряват безопасна и надеждна работа.

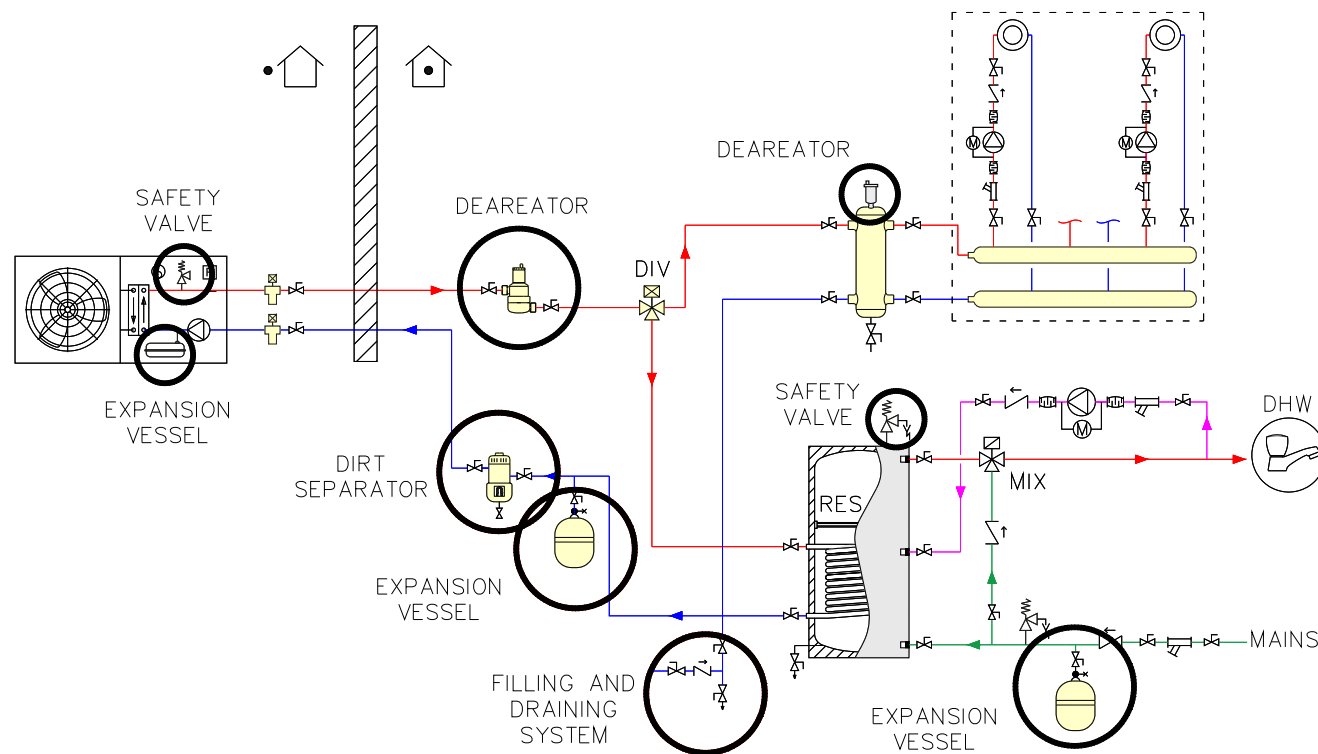
- **Предпазни клапани:** Защищават срещу прекомерно налягане, като обикновено се отварят при налягане между 3 и 10 бара.
- **Разширителни съдове:** Абсорбират топлинното разширение на водата; техният обем може да бъде изчислен аналитично или оценен на около 5% от общия обем на системата при термопомпени инсталации.
- **Въздушници и деаератори:** Отстраняват уловения и разтворения въздух, за да предотвратят корозия и кавитация на помпите.
- **Утаители за замърсявания и магнитни филтри:** Улавят отломки и магнетит, предпазвайки топлообменниците и вентилите, като същевременно запазват



Co-funded by
the European Union

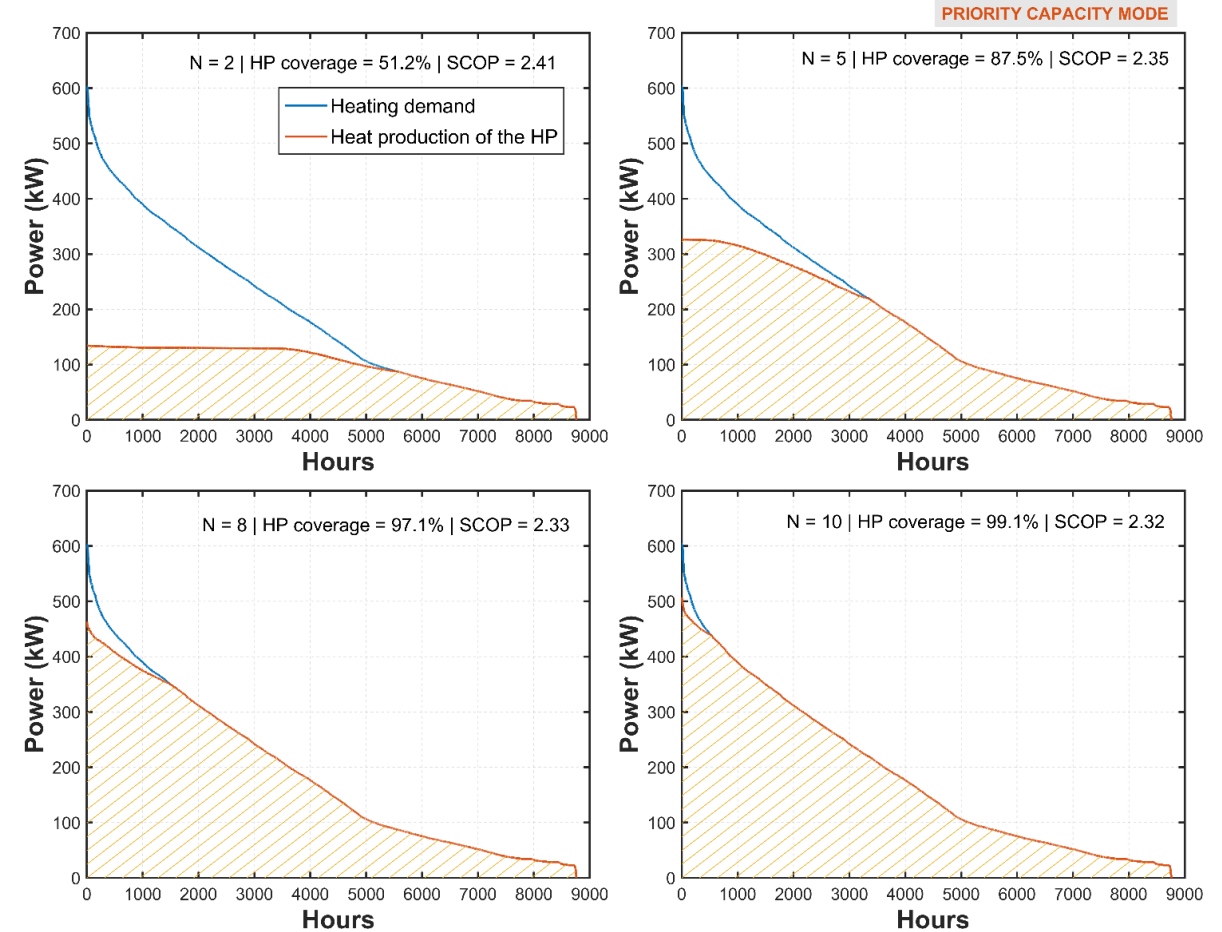


Довече подробности: прочетете раздел 17.6



17.7 Хибридни системи

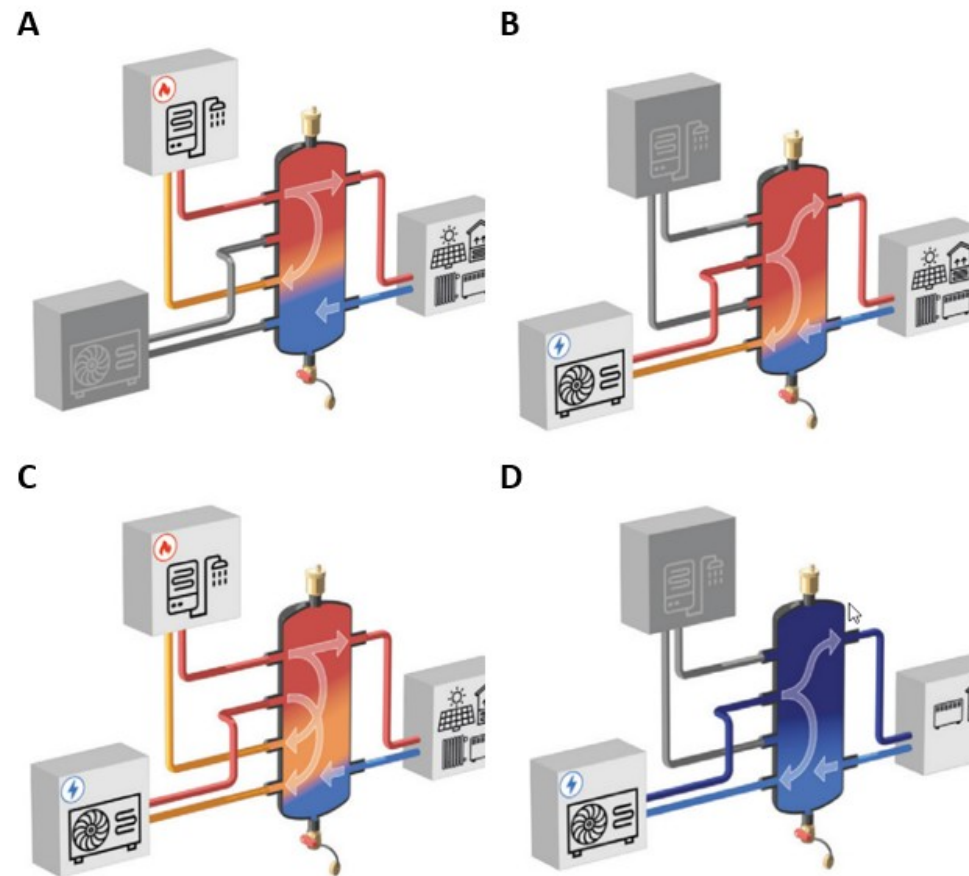
- Хибридните системи комбинират термопомпа с котел за балансиране между енергийна ефективност и пикова мощност.
- Термопомпата покрива базовия товар при умерени външни температури с висока ефективност, докато котелът осигурява пиковото потребление или нуждите от висока температура на подаване.
- Например, фигурата показва графика на продължителността на топлинното натоварване за сграда и съответните криви на производство от термопомпа за различен брой модули (N = 2, 5, 8 и 10). Увеличаването на броя термопомпи от две на десет може да повиши степента на покритие на товара от около 51% до над 99%, докато сезонният коефициент на преобразуване (SCOP) остава почти непроменен (около 2.3–2.4).
- Това доказва намаляващата гранична ефективност при преоразмеряване на системата над определено ниво на покритие и подкрепя обосновката за използване на хибридни решения.



Повече подробности: прочетете раздел 17.7.1

17.7 Хибридни системи

- Инерционен хидравличен разделител позволява лесно интегриране на термопомпа и котел чрез хидравлично разделяне на техните кръгове, като същевременно поддържа правилните работни условия чрез подходяща схема на свързване и стратификация (слоесто разпределение) на потока.
- **Потокът от котела се свързва към най-горния щуцер, потокът от термопомпата – непосредствено под него;** връщащата линия от котела се свързва към третия щуцер отгоре, а връщащата линия от термопомпата – към най-долния щуцер, като охладителният кръг е от противоположната страна.
- Разделителят позволява независима или паралелна работа на котела и термопомпата, с частично вътрешно байпасиране за запазване на хидравличния баланс; в режим на охлаждане само термопомпата захранва системата.
- Разделителят изпълнява двойна функция: отделя кръговете на първичните източници от вторичния разпределителен кръг и осигурява минималния воден обем, необходим за работата на термопомпата, използвайки зона с ниска скорост на потока за неутрализиране на разликите в налягането и опростяване на проектирането на системата.



Режими на работа: (A) Само котел; (B) Само термопомпа; (C) Двата източника едновременно; (D) Режим на охлаждане

Повече подробности: прочетете раздели 17.7.2 + 17.7.3

УРОК 18

Типови схемни решения



Co-funded by
the European Union



Урок 18 Цели

1. Да се разбере как са конфигурирани типовите хидравлични системни схеми за жилищни и малки термопомпени инсталации, чрез използване на стандартни компоненти като термопомпи, акумулиращи съдове, разделители, вентили и разпределителни кръгове.
2. Да се сравнят различни системни конфигурации (директно свързване, първичен/вторичен кръг, с множество отоплителни тела, многомодулни, геотермални и хибридни системи) и да идентифицирате условията, при които всяка схема е подходяща.
3. Да се използват представените схеми като практически референтни модели за адаптиране, комбиниране и персонализиране на проекти на термопомпени и хибридни системи според изискванията на проекта, климата и съществуващите инсталации.



Co-funded by
the European Union

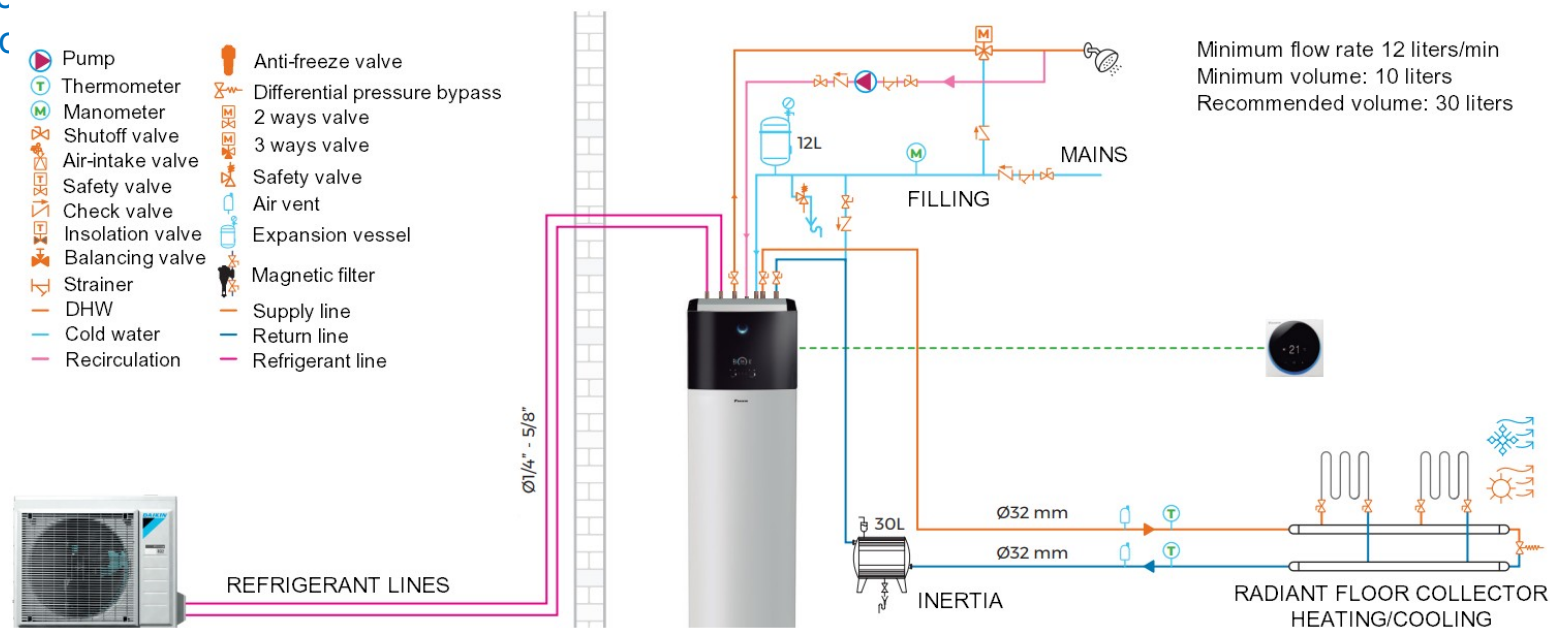


Урок 18 Съдържание

1. Този урок представя дванадесет представителни системни схеми за термопомпи, които прилагат концепциите, въведени в уроци от 14 до 17.
2. В тази презентация са избрани три представителни схеми: обикновена изцяло електрическа система, реверсивна система със смесени отоплителни тела и хибридна система с термопомпа и котел. Заедно тези схеми покриват повечето ситуации при проектиране на жилищни сгради, като същевременно поддържат концептуална яснота.
3. Останалите схеми могат да бъдат разгледани в писмената глава към урока..

18.1 Схема 1

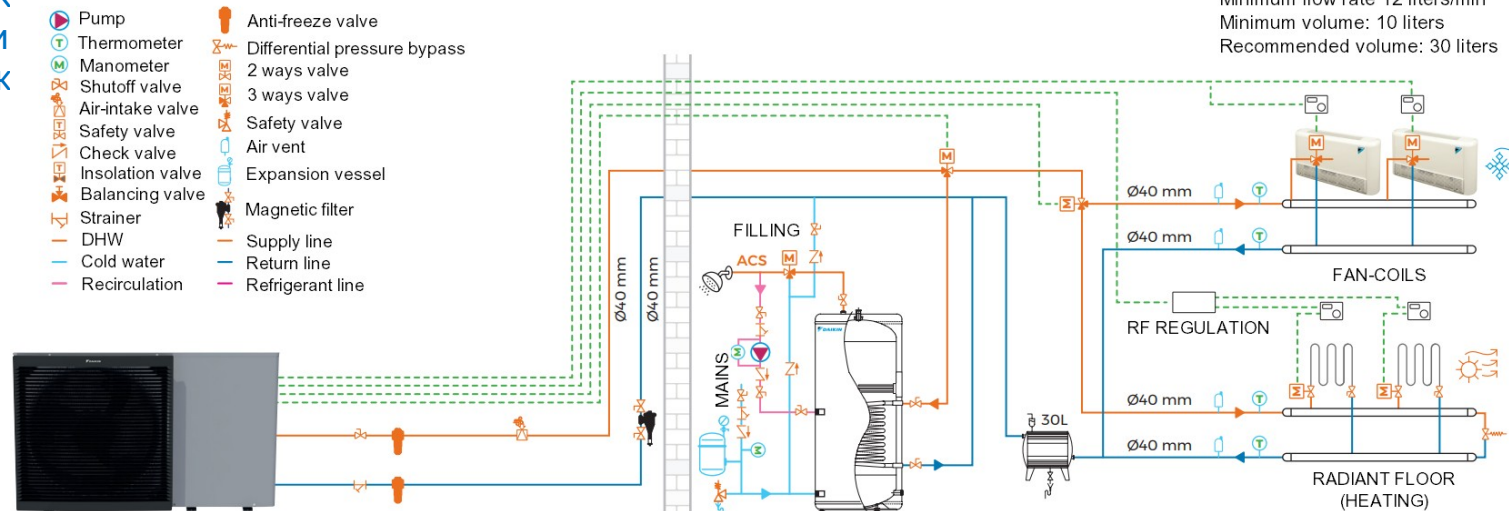
- Тази схема се характеризира със своята простота и директно свързване между термопомпата и системата за подово отопление. Инерционен (буферен) съд осигурява минималния воден обем, необходим за термопомпата, докато байпасен вентил за диференциално налягане гарантира минималния масов дебит. Вътрешното тяло представлява компактен модул, който интегрира резервоара за битова гореща вода и основните хидравлични компоненти, което намалява външните тръбни връзки и опростява монтажа.
- Системата осигурява отопление, охлаждане и битова гореща вода. В този случай ефективността на охлаждане е ограничена от фактори като риск от конденз по повърхността на пода и намалена въздушна конвекция. Като цяло това е една от най-простите схеми в набора, фокусирана върху нискотемпературно отдаване на топлина с минимално спомагателно обс



18.5 Схема 5

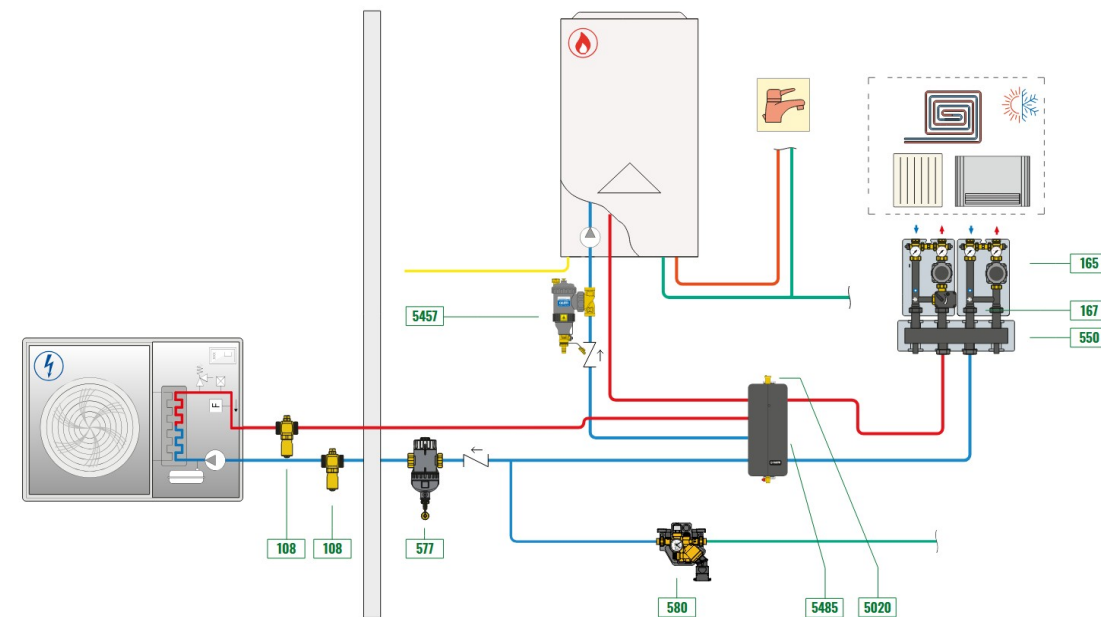
- Тази схема илюстрира по-гъвкава конфигурация, проектирана да се справя с по-високи охладителни товари през лятото. Моноблокова термопомпа въздух-вода захранва както битовата гореща вода, така и климатизацията на помещенията, но сградата използва два различни типа крайни отоплителни/охладителни тела. Контурите на подовото отопление се използват изключително за отопление, докато вентилаторните конвектори се използват за охлаждане. Това разделение избягва присъщите ограничения при охлаждане с подови системи и позволява по-голям охладителен капацитет с допълнителното предимство на изсушаване на въздуха.
- Два моторизирани превключващи вентила управляват работата на системата. Единият вентил превключва изхода на термопомпата между производството на битова гореща вода и климатизацията на помещенията. Втори вентил насочва отоплителната или охлаждащата вода или към кръга на подовото отопление, или към кръга на вентилаторните конвектори, в зависимост от сезона. В някои варианти вентилаторните конвектори могат също да подпомагат отоплението по време на студен старт, компенсирайки бавната топлинна реакция на подовото отопление.
- Тази схема е много подходяща за климати със значителни нужди от охлаждане, като например топъл умерен климат и средиземноморск лятото в сравнени управленска слож

обра ефективност през лятна и



18.9 Схема 9

- Тази схема представлява хибридна конфигурация, комбинираща моноблокова термопомпа и газов котел, свързани паралелно към инерционен (буферен) съд, който действа и като хидравличен разделител. И двата генератора могат да работят последователно или едновременно, в зависимост от интензивността на натоварването и стратегията за управление.
- Хидравличното разделяне гарантира, че циркуляционните помпи на термопомпата и котела работят независимо от дистрибуторния кръг, поддържайки стабилни условия на потока независимо от нуждите на сградата.
- Отоплението и охлаждането на помещенията се захранват чрез вторичния кръг, докато битовата гореща вода (БГВ) се произвежда проточно от котела. Това елиминира необходимостта от водосъдържател за БГВ, гарантира високи температури на водата дори при пиково потребление и премахва риска от легионела, свързан със съхранението на вода.
- Термопомпата покрива базовия отоплителен товар и всички нужди от охлаждане, докато котелът подпомага пиковото отоплително натоварване или работи, когато външните температури са твърде ниски за ефективна работа на термопомпата.
- Тази схема е особено подходяща за проекти за реновация, при които съществуващият котел се запазва и се допълва от термопомпа. Тя предлага висока надеждност, намалено потребление на изкопаеми горива и плавен преход към електрификация, като същевременно избягва преоразмеряването на термопомпата за посрещане на редки пикови натоварвания.



Източник на фигурата: Техническа документация на Caleffi

Life Foundation



УРОК 19

Оразмеряване на термопомпени системи



Co-funded by
the European Union



Урок 19 Цели

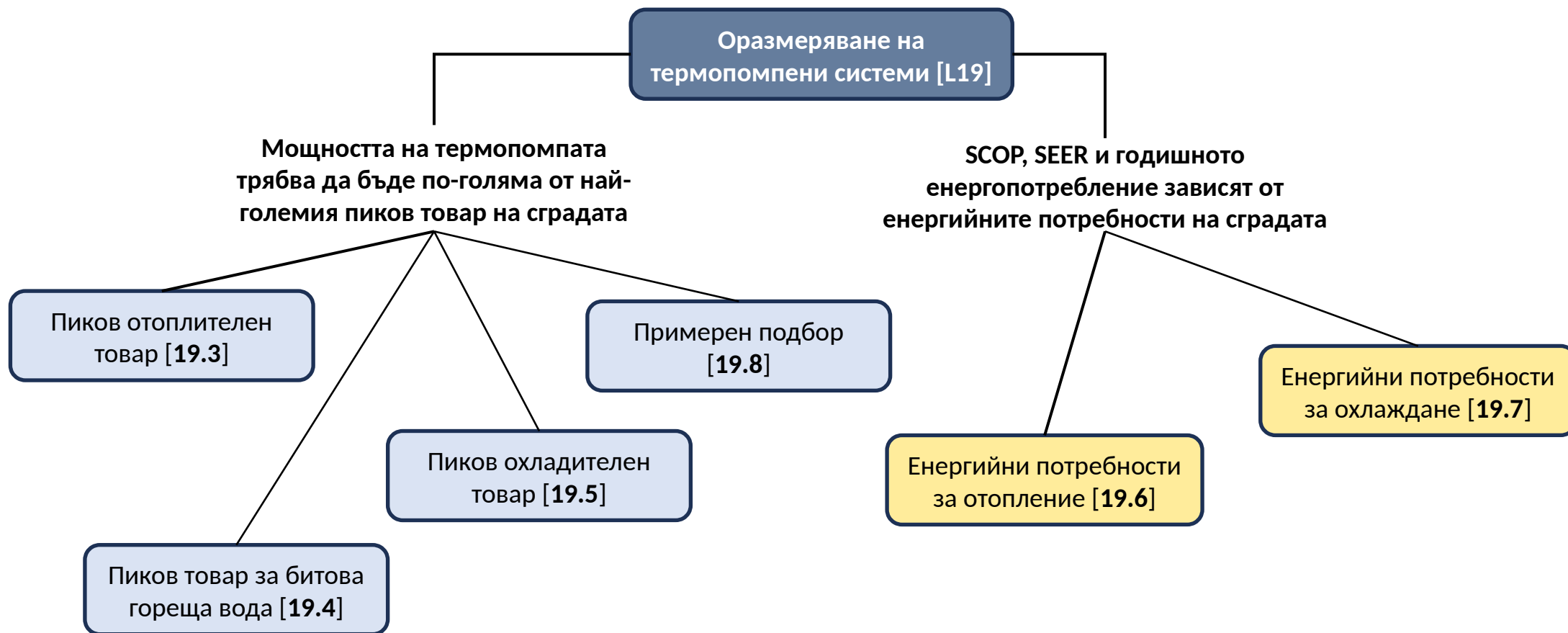
1. Да се разберат принципите на оразмеряване на термопомпи, като се прави разлика между пикови топлинни товари (kW) и годишно топлинно потребление (kWh) за отопление, охлаждане и битова гореща вода.
2. Да се усвои оценяването на пиковите товари за отопление и охлаждане, използвайки опростени методи и климатични показатели, и да се разпознават техните допускания и ограничения.
3. Да се използват данните за производителността от производителя, за да се избере подходяща мощност на термопомпата, която отговаря на проектните условия, като същевременно се избягва преоразмеряване или недооразмеряване.



Co-funded by
the European Union

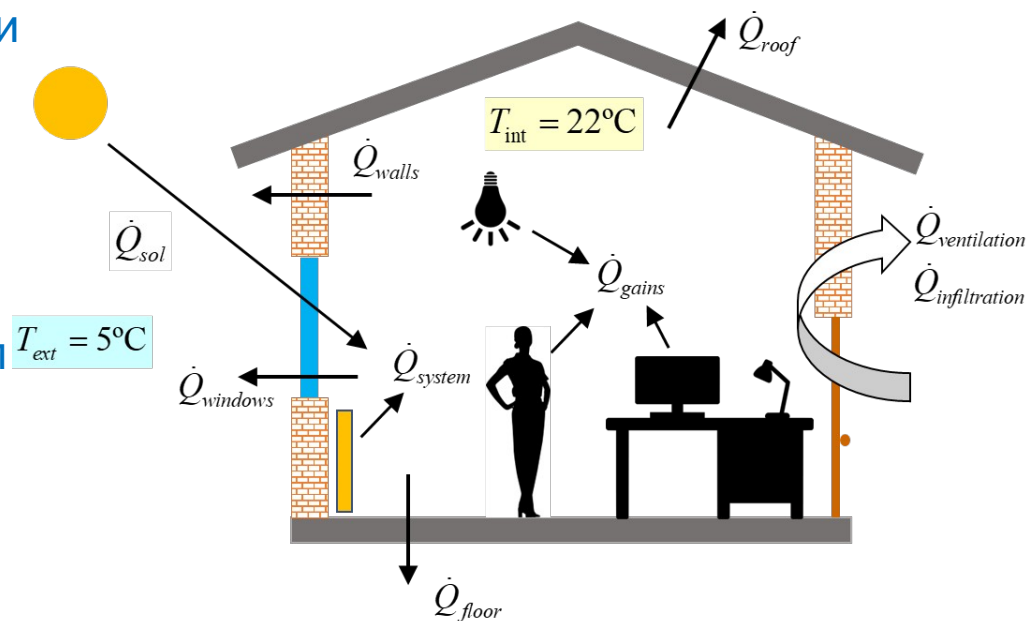


Урок 19 Съдържание



19.1 Въведение

- Оразмеряването на термопомпа се състои в определяне на максималната или пиковата мощност, необходима за поддържане на вътрешния комфорт при дефинирани проектни (екстремни) условия.
- Сградите непрекъснато обменят топлина с околната среда чрез трансмисия, вентилация, инфилтрация, слънчева радиация и вътрешни топлинни източници. Някои от тези потоци повишават вътрешната температура, докато други я понижават, а посоката им може да се променя в зависимост от външните условия. Топлинните потоци могат да бъдат класифицирани като явни (sensible), които влияят на температурата на въздуха, и латентни (latent), които влияят на влажността.
- Целта на оразмеряването е да се гарантира, че термопомпата може да компенсира комбинирания ефект от всички топлинни загуби или топлинни постъпления по време на най-критичните условия, като например зимно студено време, когато се изобявява прекомерно оразмеряване, което би намалило ефективността.



19.2 Пикови товари спрямо енергийни потребности

Важно е да се прави разлика между:

- **Пиков топлинен товар:** максимална моментна отоплителна или охладителна мощност, необходима в kW.
- **Енергийни потребности:** кумулативна енергия, необходима за определен период от време, в kWh.

Пиковите товари определят мощността на необходимото оборудване за поддържане на вътрешния комфорт при екстремни условия, докато енергийните потребности са свързани с годишното енергопотребление.

Често се случва пиковата мощност на отоплителната система да се използва само за малка част от времето: пиковият товар възниква само през няколко най-студени часа в годината. Правилното оразмеряване гарантира, че термопомпата може да покрие тези пикове, без да бъде драстично преоразмерена за нормална работа.



Co-funded by
the European Union



Повече подробности: прочетете раздел
19.2



19.3 Пиков отоплителен товар

- Пиковият отоплителен товар е максималната скорост на топлинните загуби от сградата в най-студения ден. Той зависи от нивото на изолация, въздухонепроницаемостта, вентилационния дебит и външната проектна температура, която се определя статистически за всеки климат.
- Пиковият отоплителен товар обикновено се изразява в киловати (kW) или във ватове на квадратен метър от площта на пода (W/m^2).
- Следващата таблица дава някои ориентировъчни стойности; официалните изчисления трябва да следват стандарти като EN 12831, тъй като опростените правила в W/m^2 дават само бърза предварителна оценка. Пазарът предлага софтуер за прецизно изчисляване на пиковия отоплителен товар.

Тип конструкция	Пиков отоплителен товар (q_{design})
Нова къща (качествена изолация, строителни норми след 2000 г.)	30–50 W/m^2
Стандартна къща от 90-те години	40–60 W/m^2
По-стара къща с частична изолация	60–100 W/m^2
Стара, неизолирана къща	120 W/m^2

- Стойно **мат ще бъдат** към долната граница на диапазоните, докато горната граница се прилага за по-студен климат или лошо изолирани конструкции. Например, неизолирана стара къща може да се нуждае от около 120 W/m^2 в студен климат, но същата къща в средиземноморски климат би имала по-малка потребност, вероятно от порядъка на 70–80 W/m^2 . Обратно, модерна добре изолирана къща може да има товар от 30 W/m^2 в топъл климат или по-близо до 50 W/m^2 в по-студен климат. Изключително енергийно ефективни проекти като **пасивните къщи** ограничават отоплителните товари до около 10–15 W/m^2 .



Повече подробности: прочетете раздел
19.3



19.4 Пиков товар за битова гореща вода (БГВ)

- В допълнение към отоплението на помещения, жилищните термопомпи често осигуряват и битова гореща вода.
 - Както беше описано в Урок 16, загряването на БГВ има свои специфични характеристики на пиковия товар, например когато сутрин се използват едновременно няколко душа или крана за гореща вода. Въпреки това, тези товари се покриват чрез съхранение на гореща вода в бойлер (акумулиращ съд), което намалява изискването за пикова топлинна мощност на термопомпата. Вместо да се налага термопомпата да покрива моментното пиково потребление със своята директна мощност, тя може да загрее определен обем вода предварително. Следователно оразмеряването за БГВ е по-скоро свързано с ежедневните енергийни потребности (kWh) и капацитета на съхранение, отколкото с моментната мощност в kW.
 - По отношение на оразмеряването на термопомпата, БГВ рядко определя нейната пикова мощност, тъй като термопомпата може да работи по-дълго време, за да зареди отново бойлера. Фокусът е върху осигуряването на достатъчен обем за съхранение (и евентуално електрически резервен нагревател) за покриване на пиковите периоди на използване. Термопомпата по същество разпределя мощността си във времето: произвежда гореща вода непрекъснато с по-ниска скорост, за да постигне енергийната цел, вместо да се опитва да отговори на цялото едновременно потребление наведнъж.
 - Методите за избор на двойката (мощност P , обем V) бяха разгледани подробно в Урок 16, заедно с
- Повече подробности: прочетете раздел 19.4

19.5 Пиков охладителен товар

- Пиковият охладителен товар е максималната скорост на топлинните постъпления, които трябва да бъдат отведени, за да се поддържа комфорт по време на най-горещия проектен ден. Охладителните товари са силно повлияни от слънчевата радиация, ориентацията, остъкляването, засенчването, вътрешните топлинни източници и топлинната инерция.
- Следващата таблица предоставя някои ориентировъчни стойности;** за разлика от отоплението, охладителните товари са силно зависими от времето и изчисленията при стационарно състояние са склонни да надценяват пиковите. Пиковите стойности са изразени в топлинната мощност, която се отвежда от пространството.

Европейска зона	Представителни региони	Типичен пиков охладителен товар (W/m ²)	Пояснения
Студен / Северен	Скандинавия, Балтийски държави, Северна Великобритания	0–20 W/m ²	Охлаждането често е излишно; само в изключителни случаи (високи слънчеви постъпления)
Студен-умерен	Германия, Нидерландия, Белгия, Северна Франция	20–40 W/m ²	Охлаждането често е излишно; обусловено основно от слънчевите постъпления и инцидентни горещи вълни
Умерен / Централен	Централна Франция, Швейцария, Австрия	30–50 W/m ²	Умерени летни товари; засенчването и топлинната инерция оказват силно влияние върху пика
Топъл-умерен	Северна Италия, Северна Испания, Южна Франция	40–70 W/m ²	Охлаждането е често необходимо; слънцезащитата става важна
Средиземноморски	Испания, Гърция, Южна Италия, Южна Португалия	60–90 W/m ²	Охлаждането често доминира при проектирането; силна зависимост от засенчването и остъкляването
Горещ средиземноморски	Южна Испания, Сицилия, Кипър	80–110 W/m ²	Високи слънчеви постъпления; стойности близо до горната граница при липса на засенчване или при голямо остъкляване

19.6 Енергийни потребности за отопление на помещения

19.7 Енергийни потребности за охлаждане на помещения

Тези два раздела са за избирателно обучение, но са много интересни за Вашата подготовка:

- Раздел 19.6 въвежда концепцията за отоплителни градус-дни и показва как да се използва този климатичен индекс за изчисляване на енергийните потребности за отопление на примерна сграда.
- Раздел 19.7 въвежда охлаждащите градус-дни – аналогична концепция за енергийните потребности за охлаждане – и разглежда техните ограничения.



Co-funded by
the European Union



19.8 Избор на мощност на термопомпата

- Оразмеряването на термопомпата се базира на пиковия отоплителен товар (P_h) и, когато е приложимо, на пиковия охладителен товар (P_c). Избраната мощност трябва да бъде поне равна на по-голямата от двете стойности, така че:
$$CAP_{HP} \geq \max(P_h, P_c)$$
- Доминиращият товар зависи от климата, като при по-студените региони това е отоплението, а при по-топлите – охлаждането.
- За термопомпите тип „въздух-вода“ номиналната мощност не е достатъчна за избор. Наличната мощност варира в зависимост от температурата на външния въздух и температурата на подаваната вода и може значително да спадне при проектни зимни или летни условия.
- Следователно крайният избор трябва да се базира на данните за производителността от производителя при проектна външна температура и необходима температура на подаване (както за отопление, така и за охлаждане), за да се избегне недостатъчна мощност и загуба на комфорт при екстремни условия

Пример: Избор на термопомпа тип „въздух-вода“ за еднофамилна къща от 150 m², разположена в Каунас (Литва). Пиковият отоплителен товар се оценява на 40 W/m² (нова къща с много ниско потребление).

Стъпка 1. Пиковият отоплителен товар се оценява на 40 W/m², така че проектната отоплителна мощност е:

$$P_h = 150m^2 \times 40 \frac{W}{m^2} = 6000W = 6kW$$

19.8 Избор на мощност на термопомпата

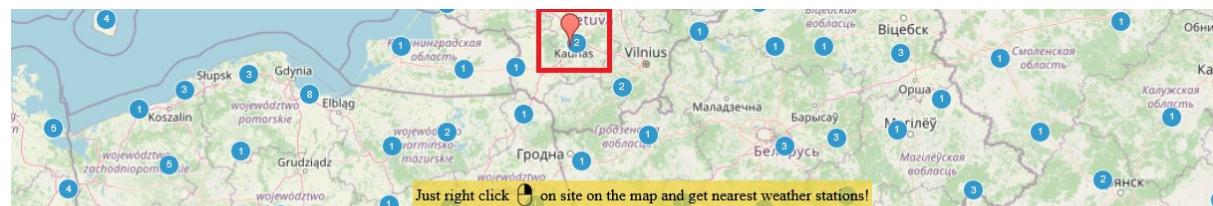
Стъпка 2. Определете екстремните работни температури, на които ще бъде подложена термопомпата.

Разглеждаме двете страни на машината:

- Страна на консуматорите (вода):
Максималната температура на изходящата вода е настроена на 55°C за производство на битова гореща вода (БГВ). За отопление на помещения, проектната температура на подаване е 45°C.
- Страна на източника (външен въздух):
Проектните условия за отопление се определят от по-ниската температура на външния въздух (сух термометър) на обекта. Тази температура може да бъде получена от национални нормативни изисквания или от международно признати бази данни, като например базата данни с климатична

За Каунас, фигурата (ASHRAE) показва два често използвани нива на осигуреност за ниска температура при проектиране на отопление:

- Т вън, проектна -17.9°C (99.6% осигуреност; по-консервативен избор)
- Т вън, проектна = -14.4°C (99% осигуреност)



2025 ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI)

Compare

KAUNAS, LITHUANIA (WMO: 266290)

Lat: 54.8834N Lon: 23.8349E Elev: 77 StdP: 100.40 Time zone: 2.00 (EUE) Period: 1999-2023 Grade: A WBAN: 99999

Annual Heating, Humidification, and Ventilation Design Conditions															
Coldest Month	Heating DB		Humidification DP/MCDB and HR						Coldest month WS/MCDB				MCWS/PCWD to 99.6% DB		WSF
			99.6%			99%			0.4%		1%				
	99.6%	99%	DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	WS	MCDB	WS	MCDB	MCWS	PCWD	
1	-17.9	-14.4	-20.1	0.6	-17.1	-17.1	0.8	-13.7	10.9	0.4	10.0	-1.0	1.9	10	0.560

Annual Cooling, Dehumidification, and Enthalpy Design Conditions															
Hottest Month	Hottest Month DB Range	Cooling DB/MCWB						Evaporation WB/MCDB						MCWS/PCWD to 0.4% DB	
		0.4%		1%		2%		0.4%		1%		2%			
		DB	MCWB	DB	MCWB	DB	MCWB	WB	MCDB	WB	MCDB	WB	MCDB	MCWS	PCWD
7	9.4	28.9	20.2	27.1	19.2	25.4	18.2	21.3	26.8	20.2	25.2	19.2	23.7	3.5	150
Dehumidification DP/MCDB and HR															
0.4%		1%		2%		0.4%		1%		2%		Extreme Max W			
DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	Enth	MCDB	Enth				MCDB
19.5	14.4	23.9	18.5	13.4	22.6	17.5	12.6	21.7	62.3	26.8	58.4	25.3	55.2	23.7	25.6



Co-funded by
the European Union



Повече подробности: прочетете раздел 19.8.1



19.8 Избор на мощност на термопомпата

Стъпка 3. Дефинирайте изискванията към термопомпата

Тъй като мощността на термопомпите тип „въздух-вода“ спада с понижаване на външната температура, а за битова гореща вода (БГВ) е необходима по-висока температура на водата, изборът трябва да се направи чрез проверка на данните от производителя при условия A-15/W45 (за отопление на помещения) и A-15/W55 (за БГВ), или при най-близките публикувани стойности.

На практика разумен критерий би бил:

$$CAP_{HP}(T_{air} \approx -15^{\circ}C, T_{water} = 45^{\circ}C) \geq 6 \text{ kW}$$

Добавете умерен резерв за несигурност и влиянието на процесите на размразяване (напр. 10–20%), като се стремите към около 7 kW налична мощност при проектната точка.

Стъпка 4. Изберете търговски модел термопомпа

Пример за термопомпа, подходяща за това приложение, е термопомпата „въздух-вода“ Mitsubishi Electric PUD-WM80VAA. При проектни условия A-15/W45, наличната отоплителна мощност е 6.6 kW, което е достатъчно за пълно покриване на проектния отоплителен товар без нужда от спомагателно отопление при стандартни зимни условия. Устройството е способно и да произвежда вода с температура 55°C за битова гореща вода, когато е

■ PUD-SWM80VAA(-BS) PUD-SWM80YAA(-BS)

Water outlet temperature [°C]		25		35		40		45		50		55		60	
Ambient temperature [°C]		Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP	Capacity	COP
Max	-25	-	-	5.0	1.70	4.9	1.55	4.7	1.44	-	-	-	-	-	-
	-20	-	-	6.7	2.20	6.6	1.95	6.4	1.70	6.2	1.45	-	-	-	-
	-15	-	-	7.3	2.50	7.0	2.25	6.6	2.00	6.7	1.75	6.8	1.55	-	-
	-10	8.5	3.50	7.6	2.99	7.5	2.65	7.3	2.35	7.3	2.00	7.2	1.91	-	-
	-7	9.4	3.60	8.8	3.00	8.6	2.75	8.4	2.45	8.3	2.10	8.0	1.95	7.2	1.55
	2	9.9	3.90	9.3	3.30	9.1	3.00	8.8	2.65	8.8	2.30	8.2	1.80	8.0	1.70
	7	9.6	5.40	8.9	4.60	8.6	4.05	8.2	3.45	7.9	3.10	7.5	2.55	6.8	2.30
	12	10.4	6.35	9.9	5.45	9.7	4.80	9.5	4.10	9.1	3.60	8.6	3.10	7.7	2.70
	15	10.7	6.95	10.4	5.85	10.2	5.20	10.0	4.50	9.5	3.85	9.0	3.45	8.0	2.95
	20	10.9	7.90	10.8	6.70	10.6	5.95	10.4	5.15	10.2	4.45	9.7	3.70	9.1	3.45
Nominal	-25	-	-	5.0	1.70	4.9	1.55	4.7	1.44	-	-	-	-	-	-
	-20	-	-	6.7	2.20	6.6	1.95	6.4	1.70	6.2	1.45	-	-	-	-
	-15	-	-	7.3	2.50	7.0	2.25	6.6	2.00	6.7	1.75	6.8	1.55	-	-
	-10	8.0	3.55	7.6	2.99	7.5	2.65	7.3	2.35	7.3	2.00	7.2	1.91	-	-
	-7	8.0	3.70	8.0	3.10	8.0	2.80	8.0	2.45	8.0	2.10	8.0	1.95	7.2	1.55
	2	8.0	4.35	8.0	3.55	8.0	3.15	8.0	2.75	8.0	2.40	8.0	1.82	8.0	1.70
	7	6.0	5.65	6.0	4.76	6.0	4.20	6.0	3.65	6.0	3.20	6.0	2.65	6.0	2.40
	12	6.0	6.45	6.0	5.35	6.0	4.80	6.0	4.25	6.0	3.65	6.0	3.10	6.0	2.75
	15	6.0	7.05	6.0	5.95	6.0	5.25	6.0	4.55	6.0	3.95	6.0	3.45	6.0	2.95
	20	6.0	8.05	6.0	6.90	6.0	6.05	6.0	5.15	6.0	4.55	6.0	3.75	6.0	3.40

Повече подробности: прочетете раздел 19.8.1



Co-funded by
the European Union



УРОК 20

Системна интеграция и стратегии за управление



Co-funded by
the European Union



Урок 20 Цели

1. Разбиране на функцията на централизирано управление (supervisory control) при термопомпените инсталации.
2. Обяснение на начина, по който метеорологичната компенсация променя температурата на подаване спрямо външните условия.
3. Анализ на стратегиите за управление чрез изместване на товара (load shifting), ограничаване на пиковите натоварвания (peak shaving) и ценово базирано управление.
4. Описание на ролята на интелигентните термостати при оптимизацията на системата.
5. Идентифициране на значението на разположението на сензорите при мониторинга на ефективността.
6. Разпознаване на типичните режими и последователности на работа на термопомпите.



Co-funded by
the European Union



Урок 20 Съдържание



20.2 Метеорологична компенсация (Управление чрез коригиране по външна температура)

Основен принцип

Температурата на подаване не е постоянна.

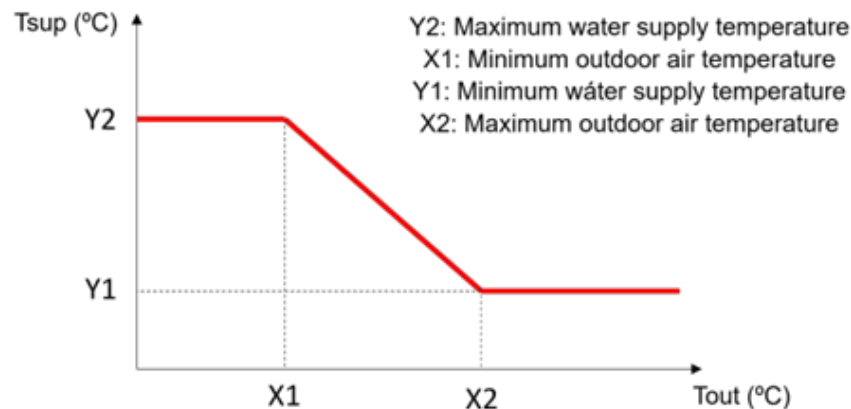
$$T_{sup} = f(T_{out})$$

Механизъм на управление

- Външен сензор, монтиран на фасадата или на външното тяло.
- Крива на отопление, която определя необходимата температура на подаване.
- Зададена стойност (setpoint), приложена към:
 - Акумулиращ съд (буферен съд)
 - Директен отоплителен кръг

Инженерен ефект

- По-ниска температура на кондензация, когато външните условия позволяват.
- Намалена температурна разлика.
- Подобрен сезонен коефициент на преобразуване (SCOP).
- Стабилен вътрешен комфорт с намалено циклично включване/изключване.



Co-funded by
the European Union



Съображение при проектирането → отоплителните тела трябва да работят ефективно при променливи температури на подаване.



20.2 Изместване на товара и стратегии за интелигентно планиране

Термопомпите могат да осигурят енергийна гъвкавост.

Топлината се превръща в управляем енергиен носител.

1. Изместване на товара

- Работа по време на периоди с ниска тарифа
- Предварително зареждане на съоръжения за съхранение на топлинна енергия (TES)
- Намаляване на работата по време на пикови часове

2. Ограничаване на пиковите натоварвания

- Мониторинг на вноса/износа към/от мрежата
- Ограничаване на максималния енергиен обмен



3. Оптимизация на разходите

- Работа, обвързана с динамичното ценообразуване на електроенергията

4. Интегриране на възобновяеми енергийни източници

- Мониторинг на производството от фотоволтаични системи (PV)
- Мониторинг на остатъчното мрежово натоварване
- Увеличаване на собственото потребление на енергия от възобновяеми източници



20.3 Интелигентни термостати и интегриране на домашната енергийна система

Функционални характеристики

- Интернет свързаност
- Алгоритми за обучение на поведението
- Отчитане на заетостта (присъствието)
- Оптимизация според времето на използване

Системна интеграция

- Комуникация с контролера на термопомпата
- Интеграция с платформи за домашна автоматизация
- Реакция към тарифи в реално време



Co-funded by
the European Union



Интелигентните термостати въвеждат адаптивно управление

- Управлението еволюира от реактивно към превантивно (прогностично)

Оперативно предимство

- Превантивно коригиране на температурата
- Намалена излишна работа на системата
- Подобрен баланс между комфорт и енергопотребление



20.4 Разполагане на сензорите

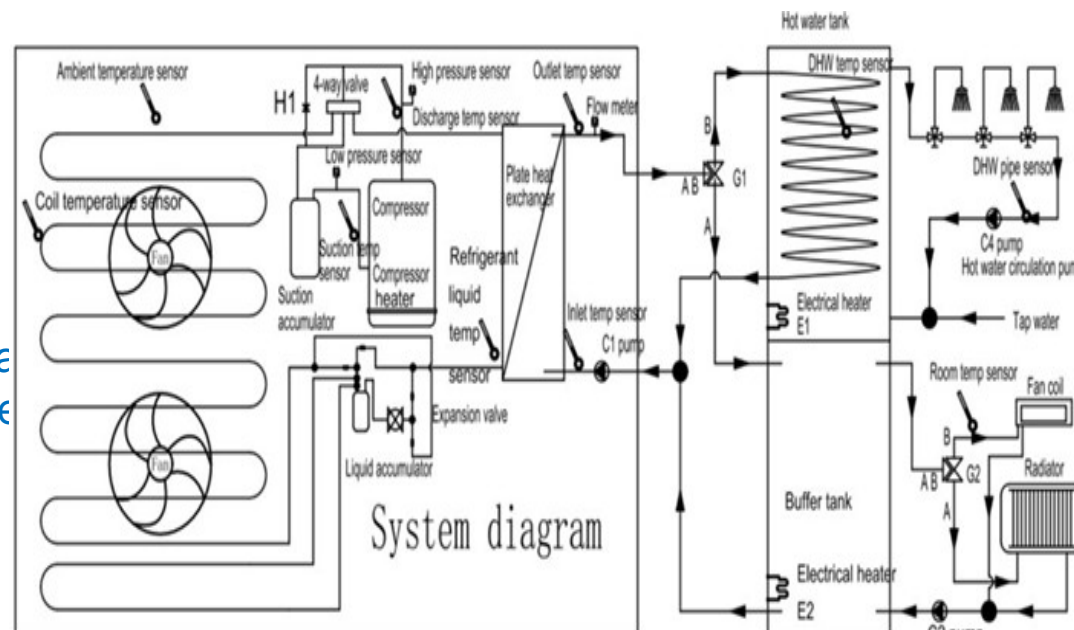
Качеството на управлението зависи от качеството на измерването

1. Хладилен кръг

- Смукателна линия → управление на прегрева
- Нагнетателна линия → защита на компресора

2. Теплообменници

- Температура на външната серпентина → управление на размразяването
- Температура на входящата/изходящата вода → мониторинг на ефективността



3. Вътрешна среда

- Температура на връщащия се въздух
- Влажност (когато е приложимо)

4. Механични компоненти

- Датчици за вибрации
- Датчици за ток

5. Правилното разполагане на сензорите позволява:

- Оптимизация на ефективността
- Прогностична поддръжка (predictive maintenance)
- Ранно откриване на неизправности

20.5 Типични режими и последователности на работа

1. Последователност при стартиране

- Проверка на заявката от термостата
- Активиране на компресора и помпите
- Модулация на разширителния вентил

2. Цикъл на размразяване (при системи въздух-вода)

- Задействане при условия на температура на серпентината и налягане
- Активиране на четирипътния вентил (обръщателен вентил)
- Временно прекъсване на отоплението

3. Спомагателно отопление

- Задействане, когато мощността на термopомпата е недостатъчна при ниски външни температури
- Включване на електрически нагреватели или хибридна система

4. Защита за безопасност

- Изключване при високо/ниско налягане
- Защита от повишен ток

5. Управлението трябва да гарантира

- Ефективност
- Защита на оборудването
- Топлинен комфорт

УРОК 21

Интеграция с други технологии за възобновяема енергия



Co-funded by
the European Union



Урок 21 Цели

1. Разбиране на принципите на хибридизацията между фотоволтаични системи и термопомпи.
2. Анализирание на сезонното взаимодействие между фотоволтаичното производство и топлинното потребление.
3. Оценяване на ролята на електрическото и топлинното съхранение (акумулиране).
4. Описване на интеграцията на слънчеви термални системи с термопомпи.
5. Идентифициране на ключовите съображения при управлението и оразмеряването на хибридни системи.

Урок 21 Съдържание



Co-funded by
the European Union



21.1 Интеграция на фотоволтаични (ФВ) системи

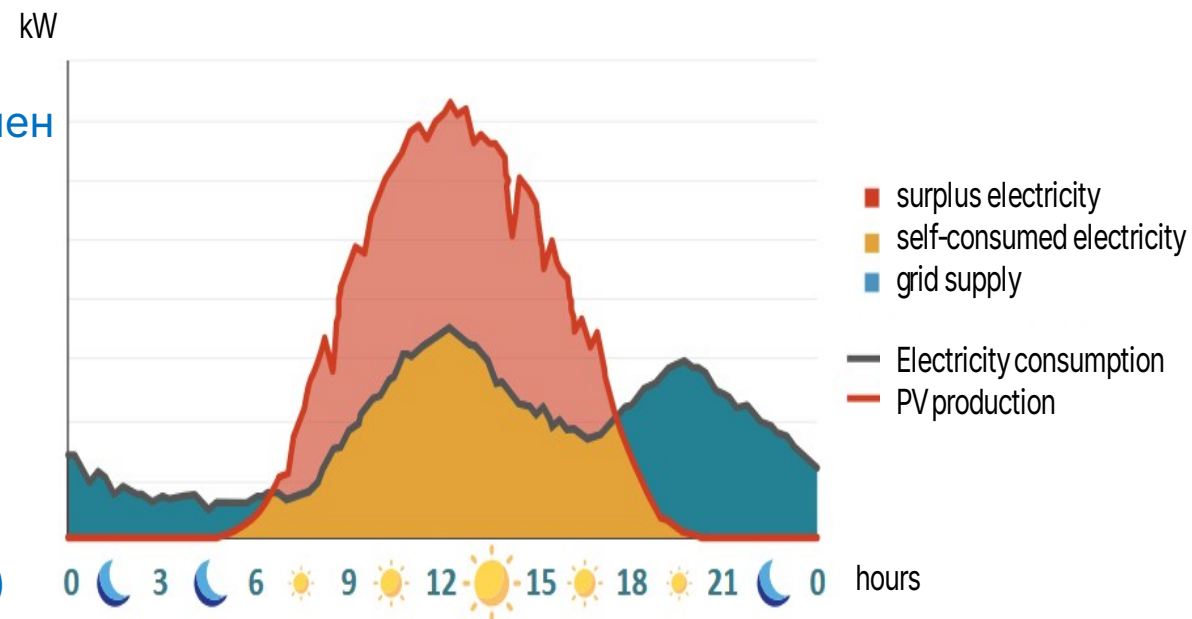
1. Електрически интерфейс

- Термопомпите работят на променлив ток (AC)
- ФВ панелите генерират постоянен ток (DC)
- Необходим е инвертор за преобразуване на постоянен в променлив ток (DC-AC)

2. Комуникация и управление

- Интерфейси за интелигентни мрежи (Smart-grid)
- Физически сигнал
- Комуникационни протоколи за шина (Bus протоколи)

Хибридизацията не е само електрическа, а и алгоритмична.



Цел:

- Усвояване на локално генерираната електроенергия
- Модифициране на работните температурни настройки (setpoint)
- Намаляване на връщането (отдаването) на електроенергия към мрежата

21.1 Интеграция на фотоволтаични (ФВ) системи

1. Дневно несъответствие

- Производството от ФВ системи достига пик по обяд
- Битовото потребление достига пик сутрин/вечер

2. Сезонно поведение

- Лято: нуждите от охлаждане съвпадат с ФВ производството
- Зима: нуждите от отопление се разминават с пика на ФВ производството

3. Роля на акумулирането (съхранението)

➤ Без акумулиране:

- Излишната електроенергия се подава към мрежата
- Ограничено собствено потребление

➤ С акумулиране:

- Съхранение на ел. енергия → Батерии
- Съхранение на топлинна енергия → бойлери за БГВ / буферни съдове
- Топлинна инерция на сградата → гъвкавост от страна на потреблението



Топлинното съхранение често е най-рентабилният вариант за гъвкавост.

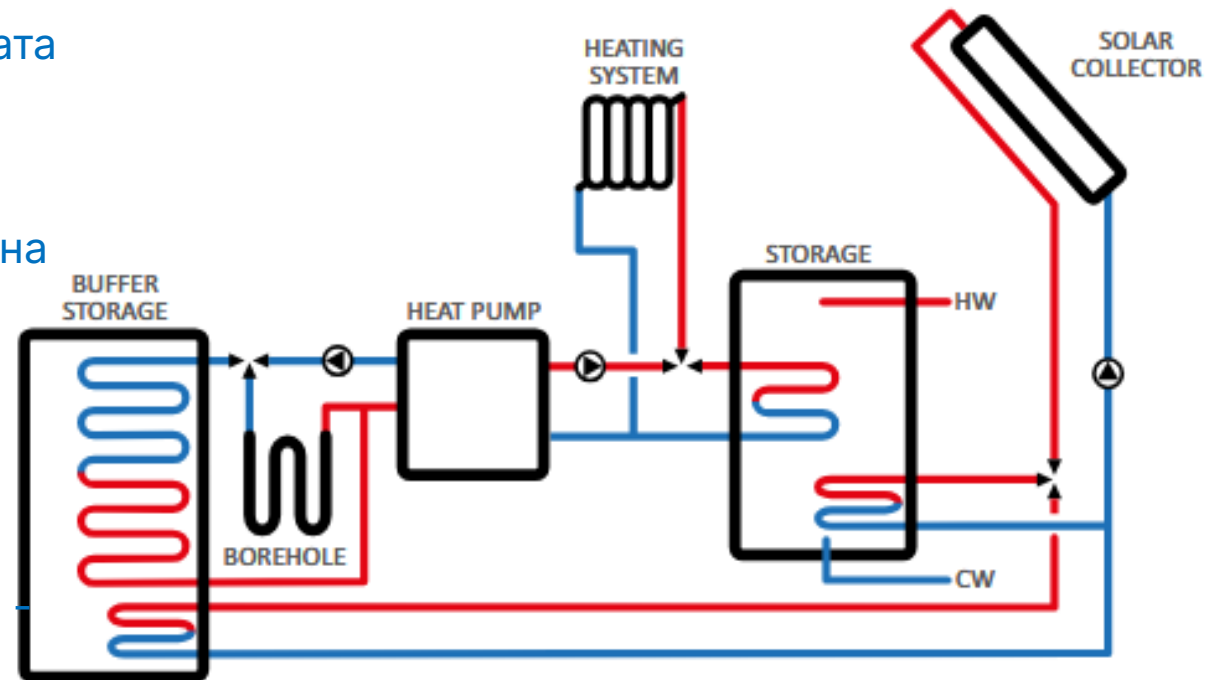
21.2 Интеграция на соларни термални системи

1. Системна архитектура

- Слънчевите колектори захранват акумулиращата система на топлина (буферния съд)
- Термопомпата осигурява спомагателно (допълнително) отопление
- Типичен обем на акумулиране: 100–300 литра на жилище

2. Конфигурации на акумулирането

- Еднотемпературен акумулиращ съд (бойлер/буфер)
- Двутемпературно акумулиране:
 - Висока температура (за битова гореща вода – БГВ)
 - Ниска температура (за отопление на помещенията)



Слънчевата енергия намалява времето за работа на компресора.

21.2 Интеграция на соларни термални системи

1. Йерархия на управлението

- Сравняване на температурата на колектора и температурата на буферния съд
 - При температурна разлика $\Delta T \geq 7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ → пренос на слънчева топлинна енергия
 - Ако температурата в съда е под зададената стойност (сетпойнт) → активиране на термопомпата
- ## 2. Приоритезация на потреблението
- Битовата гореща вода (БГВ) обикновено е с приоритет
 - Отоплението се подпомага, когато слънчевата енергия е недостатъчна

3. Препоръки за проектиране

- Избягване на преоразмеряване на фотоволтаичната система
- Съгласуване на мощността на термопомпата с топлинното потребление
- Балансиране между разходите за монтаж и процента на усвояване на енергията за собствени нужди

Хибридните системи изискват координирано управление, а не независими подсистеми.



Co-funded by
the European Union



УРОК 22

Геотермални системи



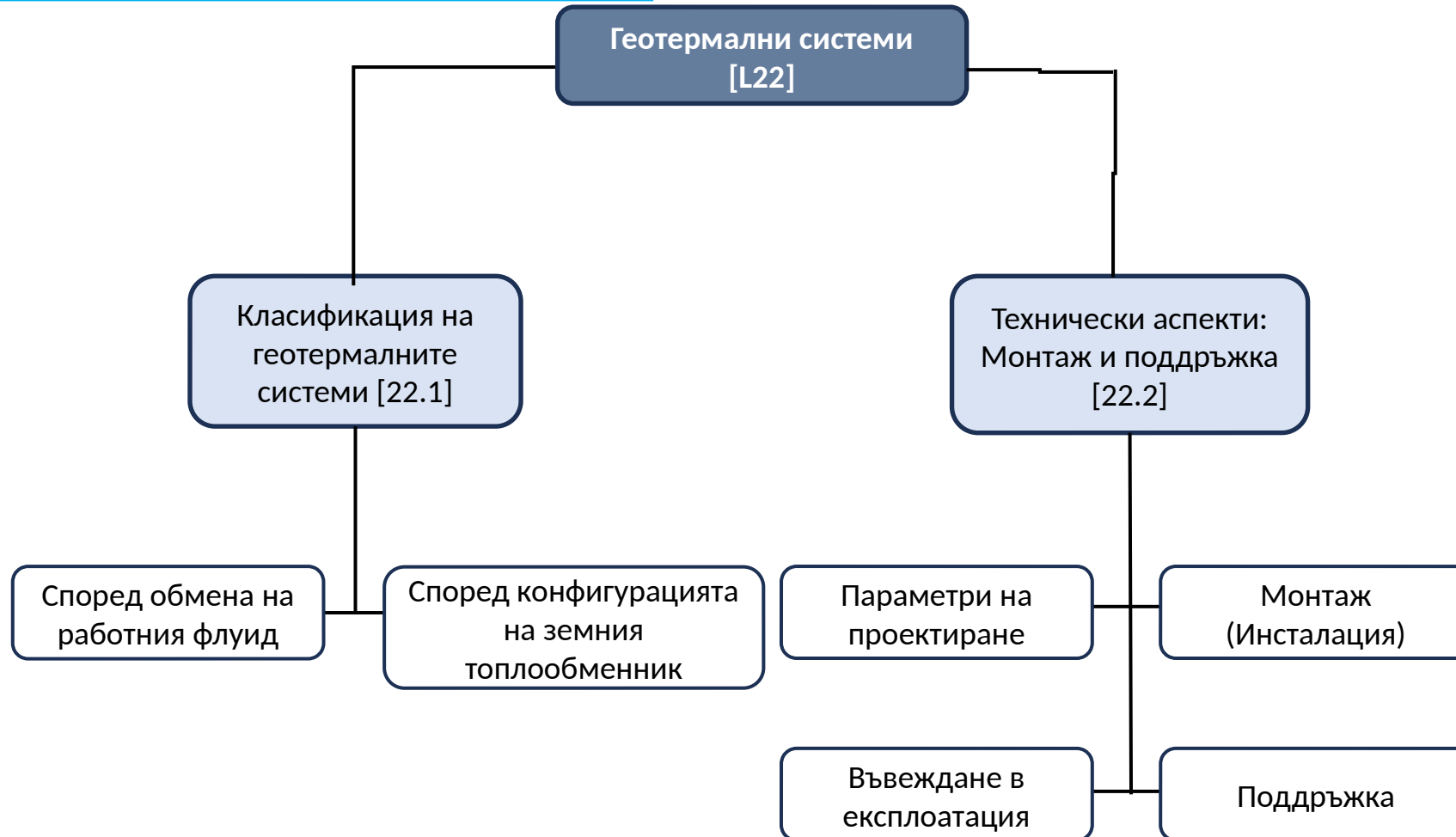
Co-funded by
the European Union



Урок 22 Цели

1. Разбиране на принципа на действие на геотермални термопомпи.
2. Обяснение защо стабилността на земната температура подобрява ефективността.
3. Класифициране на геотермалните системи (със затворен и отворен кръг).
4. Различаване на вертикални и хоризонтални земни топлообменници.
5. Идентифициране на изискванията за монтаж и поддръжка

Урок 22 Съдържание



22.1 Класификация на геотермалните системи

1. Принцип на работа

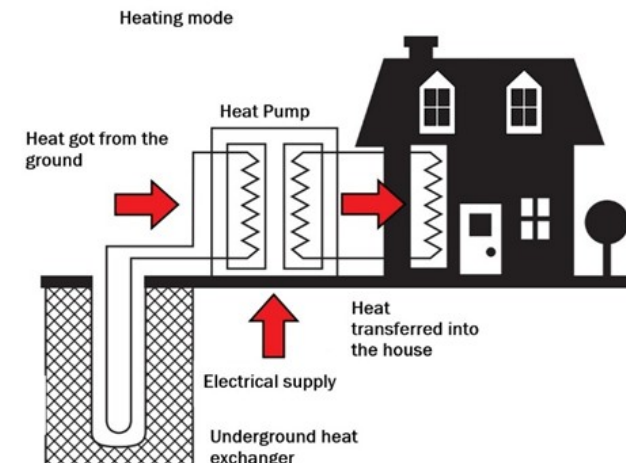
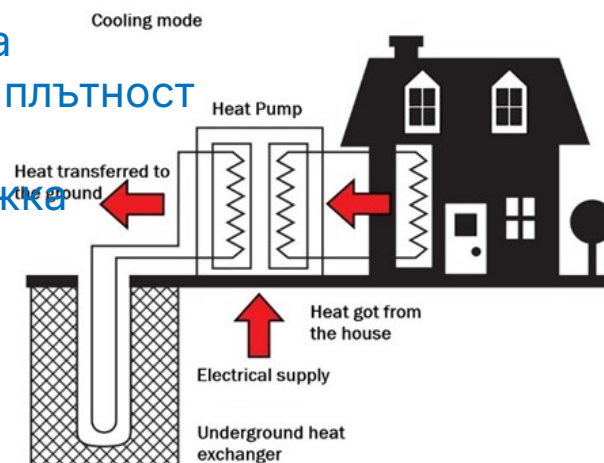
- Земната температура остава стабилна ($\approx 3-22^{\circ}\text{C}$)
- Зима → земята действа като топлоизточник
- Лято → земята действа като топлоотвод (приемник на топлина)
- По малка температурна разлика в сравнение с въздушните термопомпи

2. Системи със затворен кръг

- Няма обмен на флуид с околната среда
- Тръбопроводи от полиетилен с висока плътност
- Антифризни смеси (пропиленгликол)
- Херметични, с ниска нужда от поддръжка

3. Системи с отворен кръг

- Извличане на подпочвени води
- Повторно нагнетяване (реинжекция) или отвеждане на водата
- Чувствителност към качеството на водата (минерали, киселинност)



Co-funded by
the European Union



22.1 Класификация на геотермалните системи

1. Вертикални сондажи

- Компактна застроена площ (малка заемана площ)
- Пластмасова U-образна тръба, вградена в сондажния отвор
- Термоподобрен инжекционен разтвор подобрява топлинния обмен

2. Спирални сондажи

- Увеличена топлообменна повърхност
- Монтирани вертикално

3. Хоризонтални системи

- Изкопи (траншеи) на малка дълбочина
- Нужда от по-голяма от площ
- Влияние от температурните колебания на повърхността

4. Серпентинни конфигурации

- Сплескани спирални тръби
- Монтирани в изкопи или шахти
- Оптимизирани за ограничена повърхностна площ

22.2 Технически аспекти, свързани с монтажа и поддръжката на геотермални системи

1. Вертикални системи

- Диаметър на сондажа: 110–165 мм
- Монтиране на сондата веднага след пробиването
- Засипване (фугиране) с разтвор (пясък, бентонит, цимент)
- Термичният контакт с околната почва е от критично значение

2. Хоризонтални системи

- Подготовка и подравняване на изкопа (траншеята)
- Пясъчна постелка за защита на тръбите
- Засипване с дребнозърнест материал
- Избягване на павирани (бетонирани) повърхности над топлообменника



22.2 Технически аспекти, свързани с монтажа и поддръжката на геотермални системи

1. Стъпки при въвеждане в експлоатация

- Промиване на системата с вода под налягане
- Обезвъздушаване
- Изпитване под налягане (≈ 3 x работното налягане)
- Изпитване на отделни участъци при големи инсталации

2. Параметри на проектиране

- Отоплителни и охладителни товари
- Теплопроводимост на почвата
- Оразмеряване на сондажното поле

3. Характеристики на поддръжката

- Подземен кръг → не се нуждае от поддръжка
- Агрегати вода-вода → по-малка нужда от обслужване в сравнение с въздушните системи
- Животът на земния кръг може да надвиши 50 години



Геотермалните системи преместват сложността от експлоатацията към проектирането.