



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ

1113 София, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 2

Телефон: (02) 979 66 11, (02) 870 84 94; Факс: (02) 870 72 73

Електронна поща: iiict@bas.bg

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

Н А

Д И С Е Р Т А Ц И Я

За придобиване на научно-образователна степен „доктор“

**Тема: ИНТЕЛИГЕНТНО УПРАВЛЕНИЕ НА ИЗТОЧНИЦИ
ЗА СЪХРАНЕНИЕ НА ТОПЛИННА ЕНЕРГИЯ**

Автор: Милена Бисерова Харалампиева

Научно направление: 5.2. „Електротехника, електроника и автоматика“

**Докторска програма „Автоматизирани системи за обработка на информация и
управление“**

Научен ръководител: проф. д-р Димитър Карастоянов

София, 2021 г.

Глава I. Обзор, анализ и систематизация на видовете енергийни източници.

1.1. Същност и ползи при системите за съхранение на енергия

Търсенето и предлагането на енергия определят хода на глобалното развитие във всяка сфера на човешката дейност. Намирането на енергийни източници, които да задоволят нарастващото търсене в света, е едно от основните предизвикателства на обществото през следващия половин век.

Най-важните насоки в развитието на методите и средствата за управление на енергийните източници са въвеждането на икономични, ефективни технологии за съхранение на енергия и генериране на топлина, както и въвеждане на енергоспестяващи технологии и прилагане на материали и оборудване, осигуряващи по-дълги експлоатационни срокове.

Съществуват редица методи за съхранение на енергия, а самото им използване зависи от фактори, като предназначение, ресурс, техническа възможност и др. От икономическа гледна точка и заради увеличаване изискванията за енергийна ефективност, тяхното търсене и изследователската дейност в усъвършенстването им непрекъснато се увеличават. Използването им е изключително подходящо за райони, където се набляга на производството на енергия от възобновяеми източници като слънце и вятър, тъй като те създават възможност за оптимизиране на производството, като се осигурява постоянна доставка, въпреки периодичния характер на източника.

Интелигентното управление на системите за съхранение на енергия води до повишаване на енергийната ефективност както на самите системи, така и на обектите, в които се интегрират, което пък от своя страна води до:

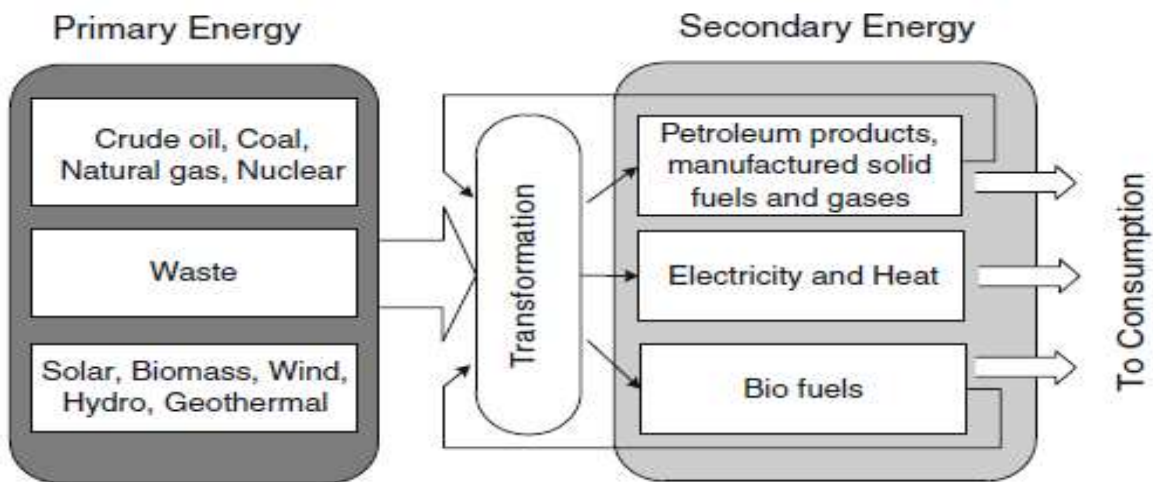
- Ползи за околната среда
- Икономически ползи

1.2. Енергия

Енергията е скаларна физична величина, която характеризира способността на дадена система да променя състоянието на заобикалящата я среда или да извършва работа. Тя съществува в различни форми, като движение, топлина, светлина, електрическа, химическа, ядрена енергия и гравитационна. Общата енергия е сумата от всички форми на енергията, която една система притежава.

1.3. Видове енергия

Първичните и вторичните видове енергия са двата основни типа, както е показано на фиг. 1.1. Първичната енергия се извлича или улавя директно от околната среда, докато вторичната енергия се преобразува от първичната енергия под формата на електричество или гориво. Разграничаването на първичните и вторичните енергийни източници са важни в енергийните баланси за отчитане и записване на енергийните доставки, трансформации и загуби.



Фигура 1.1 Първични и вторични видове енергия

1.4. Невъзобновяеми енергийни източници

Общоприето е, че невозобновяемите енергийни източници или изкопаемите горива се образуват от останките на мъртви растения и животни чрез излагане на топлина и налягане в земната кора в продължение на милиони години. Основните невозобновяеми енергийни източници са:

- Въглища
- Нефт
- Природен газ
- Ядрена енергия

Изкопаемите горива съдържат високи проценти въглерод и включват предимно въглища, петрол и природен газ. Природният газ например съдържа много ниска точка на кипене и газообразни компоненти, докато бензинът съдържа компоненти с много по-висока точка на кипене. Специфичната смес от въглеводороди придава на

горивото характерните му свойства, като точка на кипене, точка на топене, плътност и вискозитет. Тези видове горива са известни като невъзобновяеми енергийни източници.

1.5. Възобновяеми енергийни източници

Възобновяема енергия е енергията, получена от източници, които се приемат за естествено възстановяващи се или за практически неизтощими. Основните възобновяеми енергийни източници са:

- Хидроелектрическа енергия
- Слънчева енергия
- Биомаса
- Вятър
- Геотермална енергия
- Океанска енергия

В различните си форми възобновяемата енергия идва директно от слънцето или от топлината, генерирана дълбоко в земята. През 2008 г. около 19% от глобалното крайно потребление на енергия идва от възобновяеми източници, като 13% идват от традиционната биомаса, която се използва главно за отопление, и 3,2% от водоелектрически централи. Други възобновяеми източници, като например биомаса, вятър, слънчева енергия, геотермална енергия и биогорива, са допринесли с около 2,7% и бързо нарастват.

1.6. Водород

Водородът е най-простият елемент. Всеки водороден атом има само един протон. Слънцето е основно гигантска топка от водород и хелиеви газове. В ядрото на слънцето водородните атоми се комбинират, образувайки хелиеви атоми (процес на синтез) и отделят лъчиста енергия. Тази лъчиста енергия поддържа живота на земята, тъй като задвижва фотосинтезата в растенията и други живи системи и се съхранява като химическа енергия в изкопаемите горива.

Водородът не съществува на земята като газ, а се намира само в съединение с други елементи, като вода H_2O и метан CH_4 . Водородът се произвежда от други ресурси, включително природен газ, въглища, биомаса и дори вода. Двата най-често срещани метода за производство са преобразуване на пара и електролиза, при които той се разделя на кислород и водород. Понастоящем преобразуването на пара е най-евтиният и най-разпространен метод за производство на водород, докато електролизата е скъп процес.

1.7. Електрическа енергия

Протоните и електроните на атома носят електрически заряд. Протоните имат положителен заряд (+), а електроните – отрицателен (-). Противоположните полюси се привличат взаимно. Електроните в най-външните обвивки на атома не са силно привлечени от протоните и могат да се движат от един атом в друг и да създават електричество. Количеството електричество, което една електроцентрала генерира или даден клиент използва за определен период от време, се измерва в киловатчас (kWh), което се равнява на енергията от 1000 вата, работещи в продължение на 1 час.

По-голяма част от електричеството в жилищния сектор се използва за климатизация, отопление на помещения и вода, осветление и хранване на уреди и оборудване. Електричеството е най-бързо развиващата се форма на крайно потребление на енергия в световен мащаб и служи за пренос на енергия получена от въглища, природен газ, уран, вятърна енергия и други енергийни източници в домовете, бизнеса и промишлеността. За много енергийни нужди е по-лесно да се използва електричество, отколкото самите енергийни източници.

1.8. Магнитна енергия

Няма основна разлика между магнитната енергия и електрическата енергия: двете явления са свързани с уравненията на Максвел. Потенциалната енергия на магнит с магнитен момент m в магнитно поле B се определя като работа на магнитна сила (магнитен въртящ момент).

1.9. Химическа енергия

В химията това е енергията, която се свързва с атомите и молекулите и се дефинира като работата, извършена от електрическите сили при преподреждане на електрическите заряди. Ако химическата енергия при дадена химична реакция намалява, това означава, че е предадена на заобикалящата среда (най-често във формата на топлина). Ако химическата енергия се увеличава, това означава, че енергия от заобикалящата среда е превърната в химическа. Типичните стойности за промяната в моларната химична енергия по време на химична реакция варират от десетки до стотици kJ/mol.

1.10. Енергията и глобалното затопляне

Изгарянето на изкопаеми горива произвежда около 21,3 гигатона въглероден диоксид годишно, а естествените процеси могат да поемат само около половината

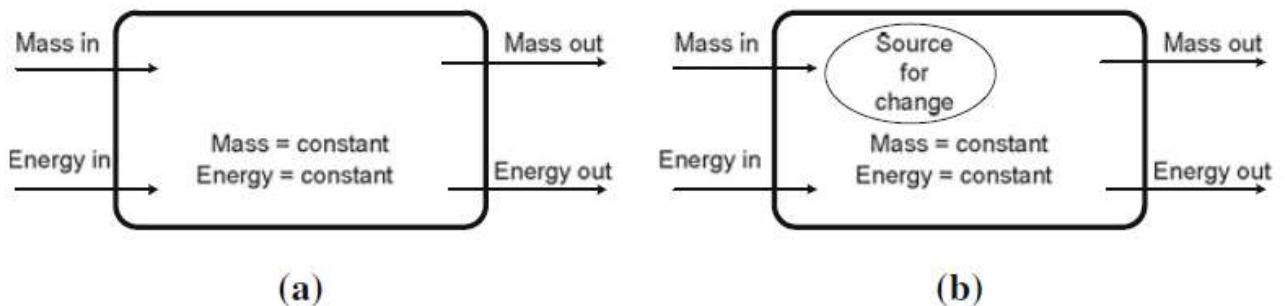
от това количество, така че има нетно увеличение от 10,65 милиарда тона атмосферен въглероден диоксид годишно.

Един тон въглерод е еквивалентен на: $MW_{CO_2} / MW_C = 44/12 = 3,7$ тона въглероден диоксид.

1.11. Енергийни баланси

Фигура 1.2 показва два вида отворени системи с взаимодействие на маса и енергия със заобикалящата я среда:

- без вътрешен източник на промяна на маса и енергия;
- с вътрешен източник за промяна в масата и енергията, ентропията и ексергията.



Фигура 1.2 (а). Отворена система без вътрешен източник на промяна на маса и енергия. (б) Отворена система с вътрешен източник за промяна в масата и енергията, ентропията и ексергията.

Цел и задачи на дисертационния труд:

Цел:

Основна цел на дисертационния труд е разработването на Иновативни подходи за подобрене на соларни системи за съхранение на топлинна енергия.

За изпълнение на тази цел ще се решат следните

Задачи:

1. Ще се направи детайлен Обзор, анализ и систематизация на видовете енергийни източници
2. Ще се направи преглед на Съществуващи методи и средства за изследване и управление на източници за съхранение на енергия

3. Ще бъдат изследвани иновативни подходи за съхранение на топлинна енергия и ще бъде предложен иновативен подход, базиран на фазово изменение на материалите.
4. Ще се разработи иновативна комбинирана система за съхранение на топлинна енергия и топлоснабдяване в сграда.
5. Ще се проведат експерименти и симулации (експериментални изчисления и ще се направи технико-икономически анализ) с предложените подходи и разработените системи
6. Резултатите ще бъдат апробирани

Глава II. Съществуващи методи и средства за управление и изследване на източници за съхранение на енергия

2.1. Методи за съхранение на енергия

За много енергийни технологии съхранението е решаващ аспект. Ако разгледаме съхранението на горивата като съхранение на вложената в тях енергия, тогава петролът е отличен пример. Големите количества петрол, съхранявани в целия свят, са необходими за надеждната икономическа наличност на бензин, мазут и нефтохимикали.

Използването на сгъстен въздух и помпени хидроелектрични системи са два от най-масово прилаганите методи за дългосрочно съхранение на електроенергия.

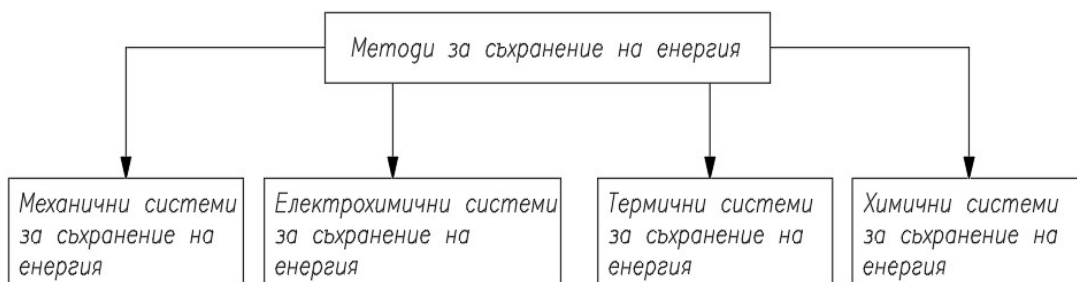
При системите за съхранение на топлинна енергия тя се акумулира, когато производството ѝ надвишава консумацията, и се осигурява достъп до нея при необходимост от страна на потребителите. Тези системи спомагат за постигането на съответствие между доставката и потреблението на енергия, за използването на променливата по характер енергия от ВЕИ, за повишаването на общата ефективност, както и за намаляване емисиите на въглероден диоксид.

Една система за съхранение на енергия обикновено се характеризира с параметрите капацитет, мощност, ефективност, период за съхранение, време за зареждане/разреждане и цена. Капацитетът, мощността и времето за разреждане са взаимозависими променливи. Например, при системи за съхранение на топлинна енергия (ССТЕ) високата мощност означава усилен топлообмен (допълнителни ребра на топлообменния апарат), който, за определен обем, редуцира количеството материал за активно съхранение и по този начин понижава и капацитета.

Топлинната енергия може да бъде съхранявана под формата на топлосъдържание в среда за съхранение, латентна топлина, свързана с фазови изменения на материалите, или като термохимична енергия, свързана с химични реакции, протичащи при температури от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до над $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Усъвършенстваните нови устройства за съхранение често са неразделна част от други нови технологии и понякога те могат да станат по-осъществими чрез иновации в съхранението. Напредъкът в съхранението е от полза особено при технологиите за вятърна и слънчева енергия. Също така новите технологии за съхранение могат да допринесат много за развитието на автомобили с електрическо задвижване.

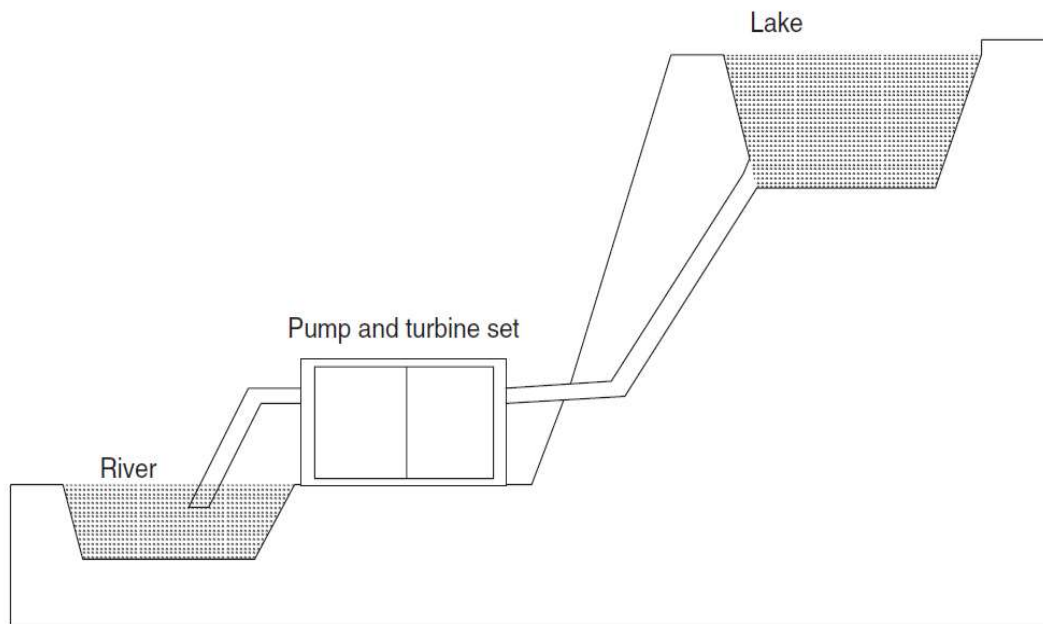
Методите за съхранение на енергия могат да се систематизират в няколко групи (фиг.2.1).



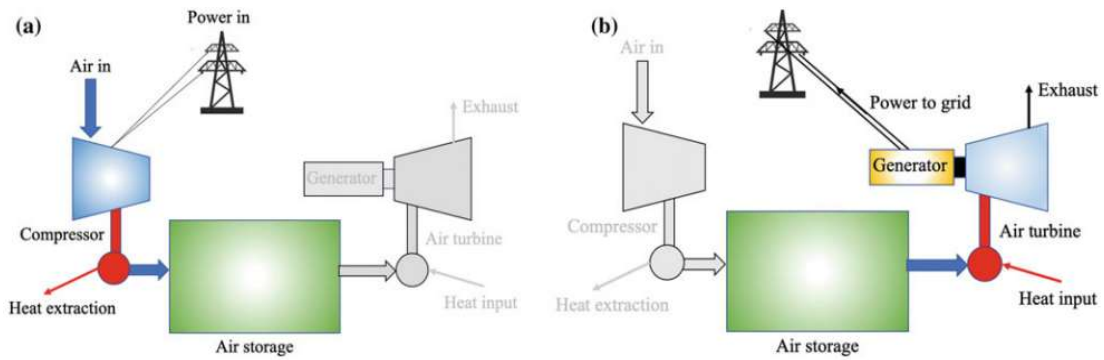
Фигура 2.1 Класификация на методите за съхранение на енергия

2.1.1. Механични системи за съхранение на енергия

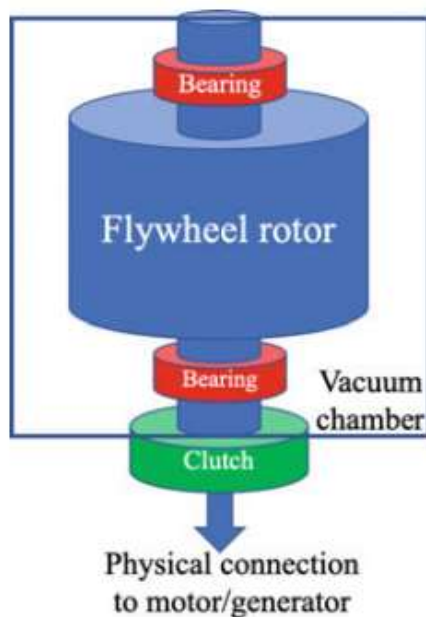
Механичната енергия може да се съхранява като кинетична енергия на линейно или въртливо движение, като потенциална енергия в издигнат обект, като енергия на компресия или деформация на еластичен материал или като енергия на компресия в газ. Трудно е да се съхраняват големи количества енергия в линейно движение, защото средата за съхранение трябва непрекъснато да се следи. Съвсем лесно е обаче да се съхранява ротационната кинетична енергия. Има три основни механични типа за съхранение, : хидрохранилище (фиг. 2.2), съхранение на сгъстен въздух (фиг. 2.3) и маховици (фиг. 2.4).



Фигура 2.2 Помпено-акумулираща водноелектрическа централа



Фигура 2.3 (a) Работа на система с въздушна компресия в режим на зареждане; (b) режим на разреждане

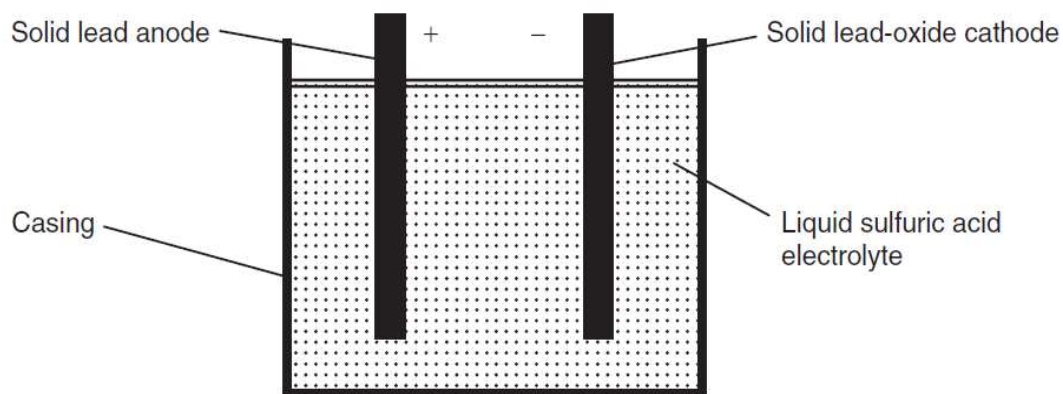


Фигура 2.4. Илюстрация на основните компоненти на система за съхранение на енергия чрез маховик

2.1.2. Електрохимични системи за съхранение на енергия

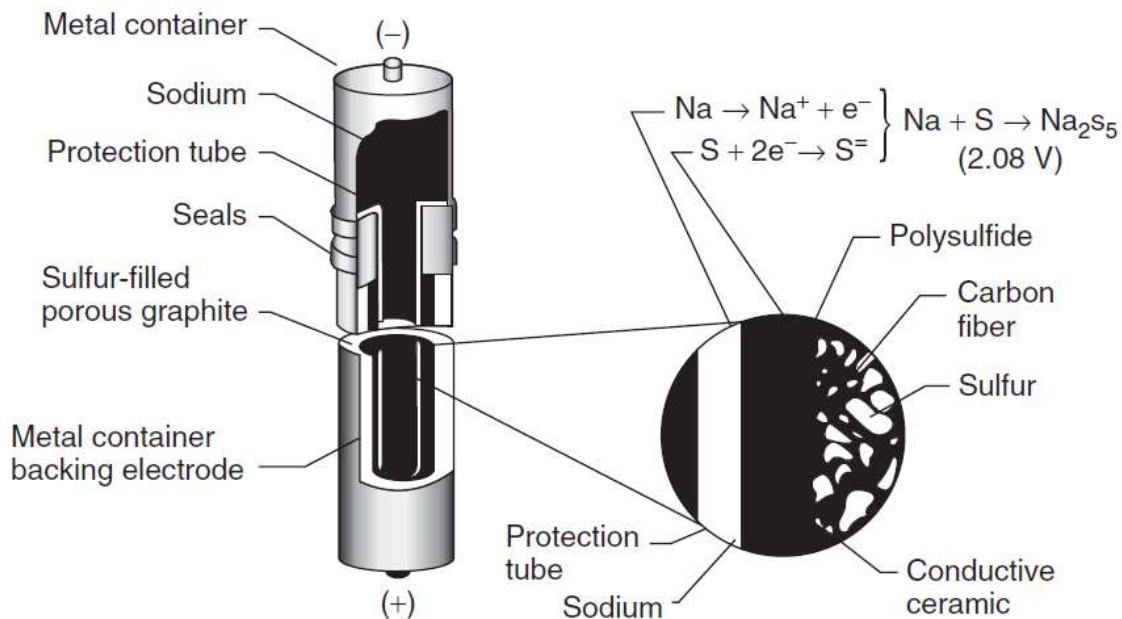
Енергията може да се съхранява в системи, съставени от едно или повече химични съединения, които отделят или абсорбират енергия, когато взаимодействат, за да образуват други съединения. Най-познатата химична система за съхранение на енергия е батерията.

Оловно-киселинната батерия работи на принципа на галваничната клетка. Едноклетъчната батерия се състои от два електрода, потопени в електролит (Фигура 2.5).



Фигура 2.5. Схема на течно-киселинна батерия

Натриево-сярната батерия (Фиг. 2.6) изисква работа при висока температура.



Фигура 2.6 Високотемпературна натриево-сярна батерия

2.1.3. Термични системи за съхранение на енергия

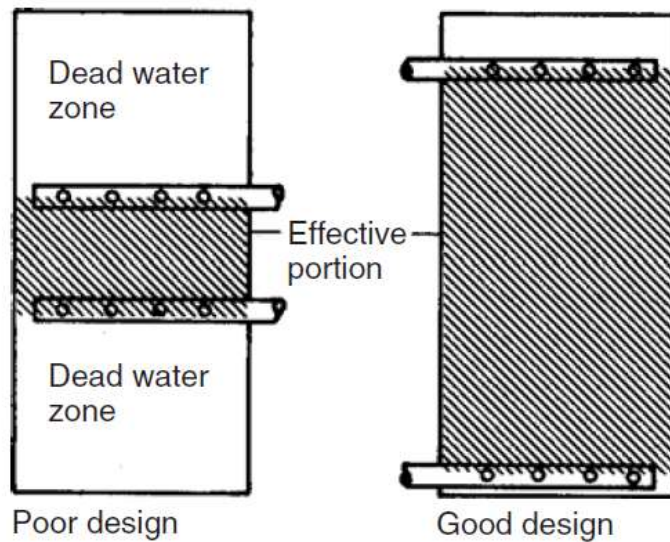
Системите за съхранение на топлинна енергия могат да съхраняват топлина или студ, за да се използват по-късно при различни условия като температура, място или мощност. Тези системи се разделят на три вида: системи за съхранение на Осезаема топлина (топлина на усещане), системи за съхранение латентна топлина и термохимични системи за съхранение на топлина.

Резервоарите за съхранение на топлинна енергия, използвани в системите за отопление и климатизация, навлизат все по-широко в последните години, като все по-голяма популярност набират стратифицираните резервоари (фиг.2.7).

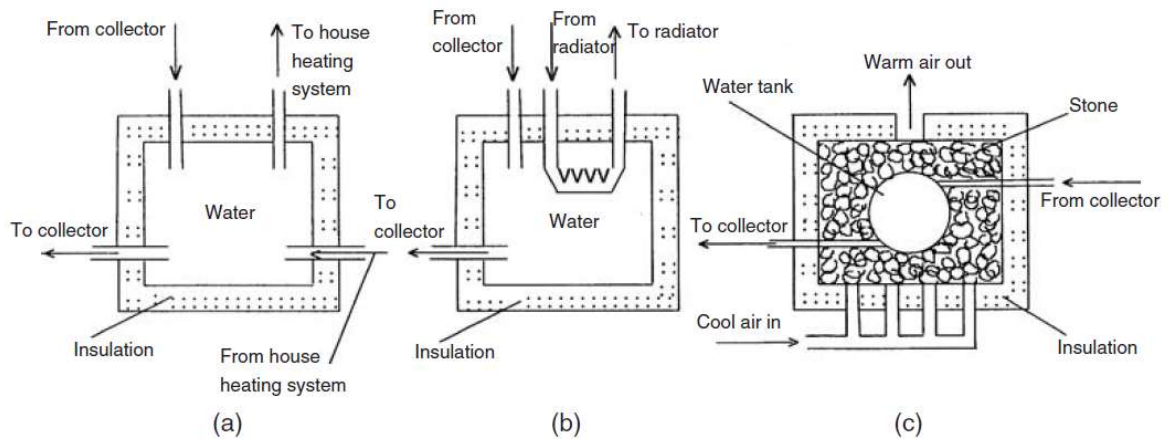
Други често използвани материали при системи за съхранение на осезаема енергия са скалите и водата. Скалата е евтин материал от гледна точка на разходите, но обемният му топлинен капацитет е много по-малък от този на водата. Предимството на скалата пред водата е, че може лесно да се прилага при такива системи за съхранение на енергия над 100 °C. И двата вида, скално легло и водохранилище, могат да се използват по различни начини (фиг. 2.8).

Фиг 2.9 илюстрира принципа на работа на прости системи с подземен слой водоносна пропусклива скала.

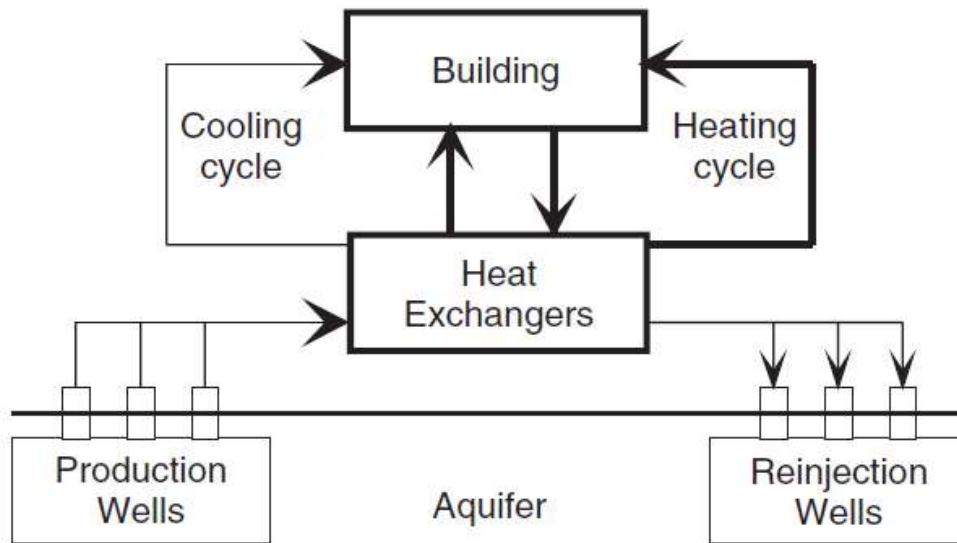
Слънчевите водоеми се различават по няколко признака от естествените. Слънчевите езера са пълни с чиста вода, за да осигурят максимално проникване на слънчева светлина. Дъното е затъмнено, за да поеме повече слънчева радиация. Добавя се сол, за да направи водата по-плътна на дъното и да потисне естествената конвекция. По-хладната вода отгоре действа като изолация и предотвратява изпарението. Солената вода може да се нагрива до високи температури, дори над точката на кипене на чистата вода – фиг. 2.10.



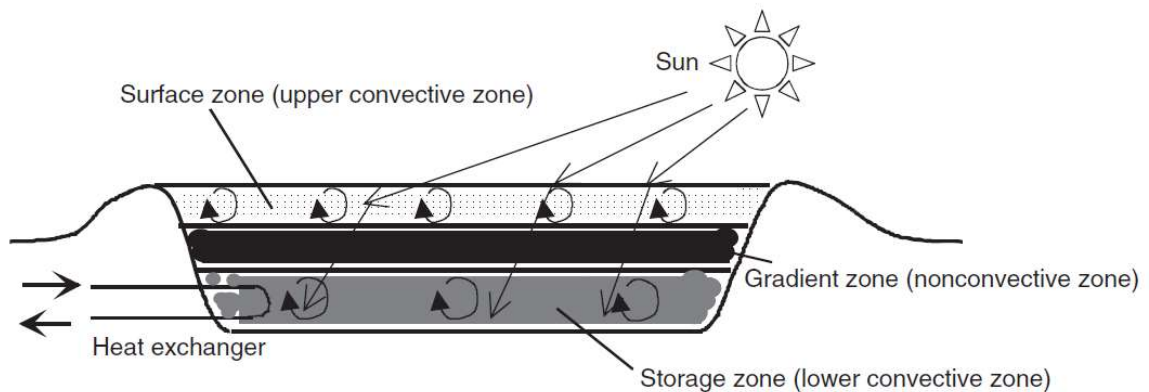
Фигура 2.7 Положение на входа и изхода на термично стратифициран резервоар



Фигура 2.8 Резервоари за съхранение на соларна енергия: (a) резервоар за съхранение на топлина, директно свързан както към колектора, така и към отоплителната инсталация на сградата, (b) система за съхранение на осезаема топлинна енергия, използваща теплообменник за извличане на соларната топлина от резервоар за съхранение, и (c) използване на вода и камък като среда за съхранение



Фигура 2.9 Схема на работа на термална система за съхранение на енергия с подземен слой водоносна пропусклива скала



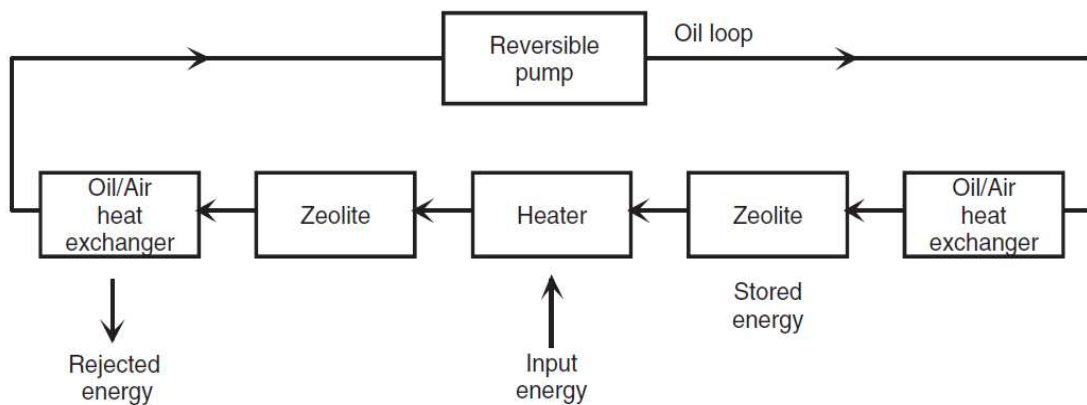
Фигура 2.13 Напречно сечение на соларно езеро с градиент на соленост

Друга среда за съхранение на енергия са зеолитите. Те са естествени минерали с висока топлина на адсорбция и способността да хидратират и дехидратират, като същевременно поддържат структурна стабилност – фиг. 2.11

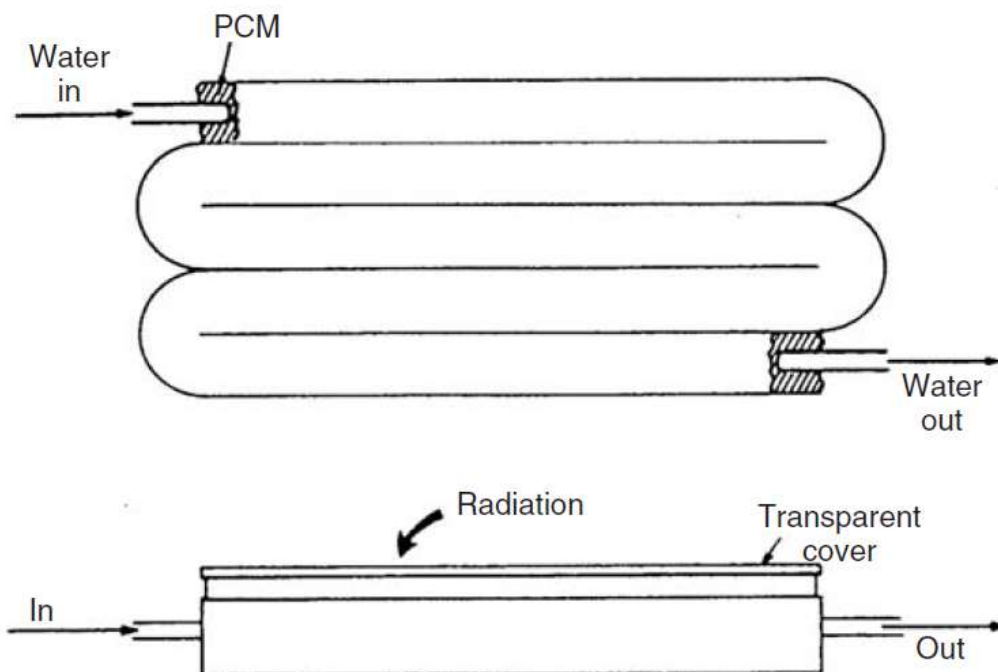
Познаването на характеристиките на топене и замръзване на фазово променящите се материали, способността им да се подлагат на термичен цикъл и тяхната съвместимост със строителни материали е от съществено значение за оценка на краткосрочните и дългосрочните характеристики на латентните ситеми за съхранение на топлинна енергия.

Над 20 000 съединения и смеси се считат за фазово променящи се материали, включително еднокомпонентни системи, сходни смеси, леснотопими (евтектични) сплави и течности, които са в равновесие с кристалните фази.

Разработен е атрактивен метод от Соколов и Кейзман (1991) за отопление с топла вода, чрез използване на фазово променящи се материали. Системата съдържа соларна тръба, състояща се от две концентрични тръби с пространството между тях, запълнено с такъв материал (Фигура 2.12).



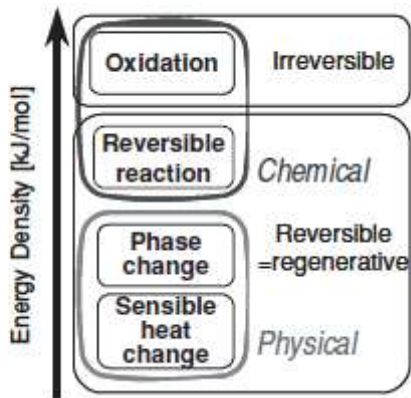
Фигура 2.11 Използване на зеолит като среда за съхранение на топлинна енергия



Фигура 2.12 Соларна тръба за съхранение на топлинна енергия, използваща фазово променящ се материал

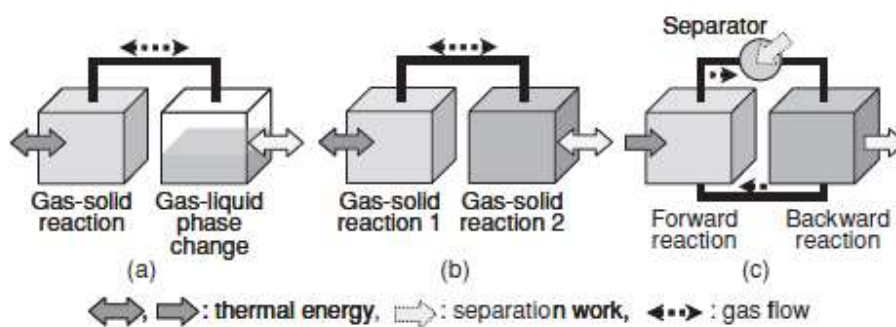
2.1.4. Химични системи за съхранение на енергия

Фигура 2.13 показва относителната връзка на енергийните плътности при физични и химични промени.



Фигура 2.13 Енергийна плътност на физични и химични промени

Обратимата химична реакция може да се използва за химическа термопомпа. Фигура 2.14 показва видове химическа термопомпа.

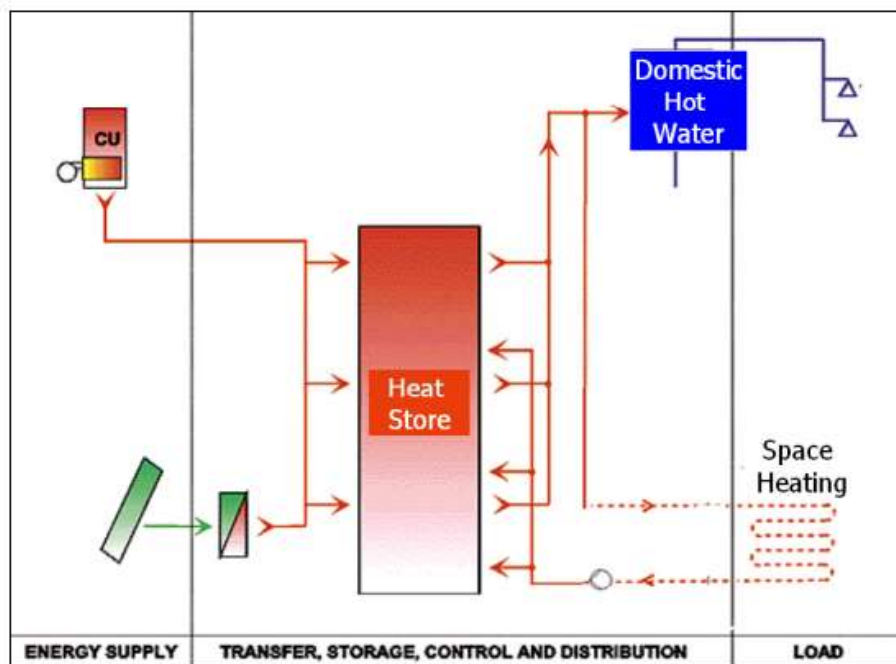


Фигура 2.14 Видове химически термопомпи; (а) тип реакция-фазова промяна, (б) тип реакция-реакция, (в) тип реакция-непрекъсната сепарационна работа

Глава III. Иновативни подходи за подобрене на соларни системи за съхранение на топлинна енергия.

Отоплението на сгради със слънчева енергия значително намалява използването на невъзобновяеми енергийни източници и облекчава степента на замърсяване на околната среда и въздуха. За да се отговори на проблемите на нестабилността на слънчевата енергия и недостатъчното съхранение на топлина, в слънчевите отоплителни системи обикновено се добавя спомагателен източник на топлина.

Така наречената „комбинирана соларна система“ е отоплителна система, която доставя топлина за битова гореща вода и отопление на помещенията в дадена сграда, използвайки два енергийни източника - слънчевата енергия и всякакъв друг спомагателен източник на топлина - фиг. 3.1.



Фигура 3.1 Компоненти на соларна система за битова гореща вода и отопление

3.1. Източници на соларна топлина (слънчеви колектори)

Слънчевият колектор е основният компонент на всяка активна слънчева топлинна система. Основната задача на слънчевия колектор е да събира слънчева енергия, след което да я преобразува в полезната топлина, която се пренася от топлоносител (например вода или смес от антифриз), или въздух от колекторите в резервоара за съхранение на топлина.

Основните видове слънчеви колектори, използвани в сградите, са изброени според тяхната сложност и напредък на използваната технология:

- Нискотемпературни колектори без стъклено покритие, така наречените абсорбери за подгряване на басейн под формата на абсорбиращи черни панели, изработени най-често от високомолекулярен полиетилен;
- Плоски колектори;
- Вакуум тръбни колектори.

Основният елемент на плоския слънчев колектор е абсорбиращата повърхност. Тя поглъща слънчевата радиация и я преобразува в топлина, която се предава през повърхността му в топлоносител (течност или въздух), който преминава под цялата абсорбираща плоча или в тръби. Напречно сечение на плосък слънчев колектор е показано на фигура 3.2.



Фигура 3.2 Напречно сечение на плосък слънчев колектор

Вакуумните колектори са изградени предимно като тръбни колектори. Въпреки това се правят и вакуумни плоски колектори и те обикновено се основават на много голямо отрицателно налягане, така нареченият несъвършен вакуум. Този тип колектор е предназначен за големи инсталации и големи покривни площи - фиг. 3.3.

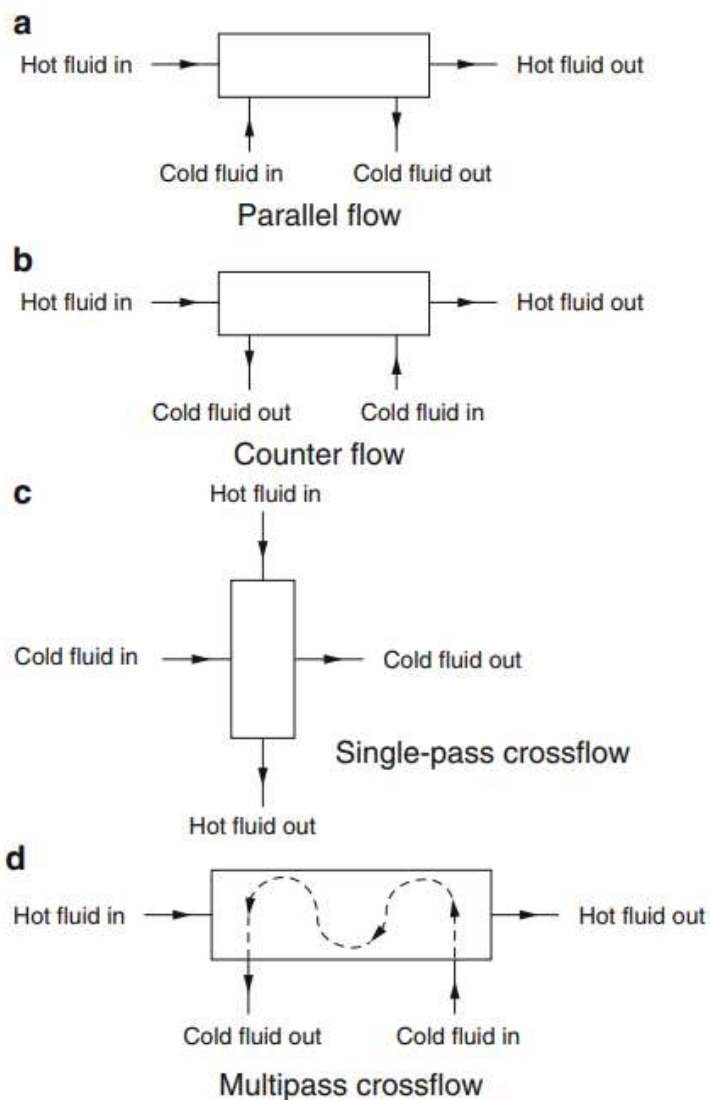


Фигура 3.3 Тръба с двойно стъкло (тръба на Дюар)

3.2. Топлообменник

Топлообменникът е устройство за пренос на топлина, което обменя топлина между два или повече технологични флуида.

Четири най-често срещани типа топлообменници, базирани на конфигурацията на пътя на потока, са илюстрирани на Фигура 3.4.



Фигура 3.4 Класификация на топлообменниците според конфигурацията на пътя на потока

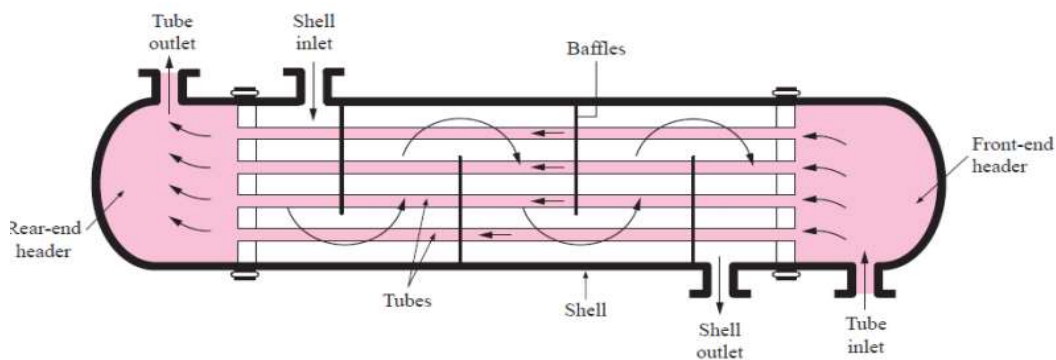
- В едновременни или паралелни потоци, при които в една и съща точка се свързват горещите и студените течности, текат в същата посока и излизат в същия край.

- При противоток или противопоток в противоположните краища се свързват горещи и студени течности, текат в обратна посока и излизат в противоположните краища.
- В едноходови топлообменници за кръстосан поток една течност се движи през матрицата за пренос на топлина под прав ъгъл спрямо пътя на потока на другата течност.
- В многоходови топлообменници за кръстосан поток един флуиден поток се придвижва нагоре и надолу, кръстосвайки се с пътя на потока на другия флуид.

Според процесите на пренос топлообменниците се класифицират като индиректни и директни.

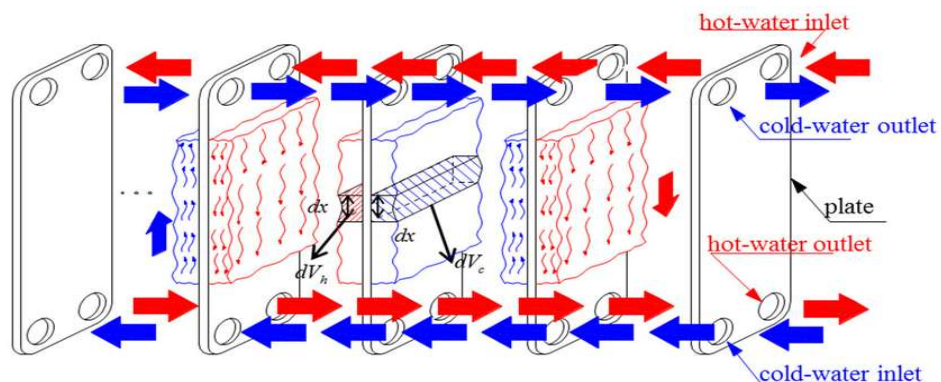
Според конструктивните характеристики топлообменниците могат да бъдат:

- Кожухотръбни - Фигура 3.5.



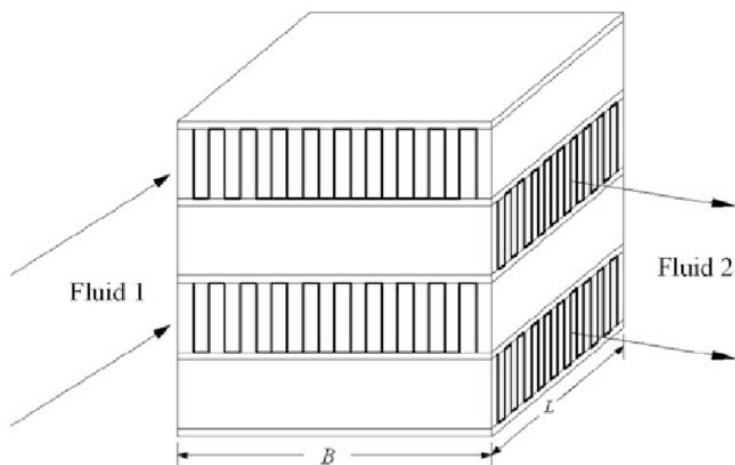
Фигура 3.5 Кожухотръбен топлообменник

- Пластинчати - Фигура 3.6.



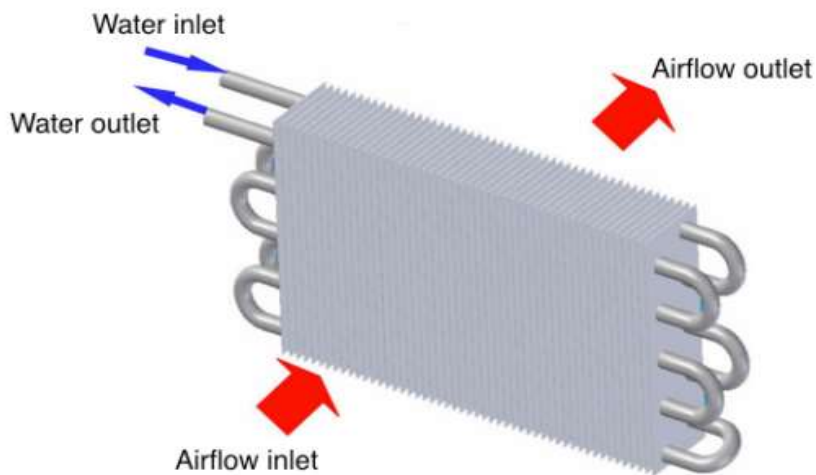
Фигура 3.6 Пластинчат топлообменник

- Оребрени пластинчати - Фигура 3.7.



Фигура 3.7 Оребрен пластинчат топлообменник

- Оребрени тръбни - Фигура 3.8.



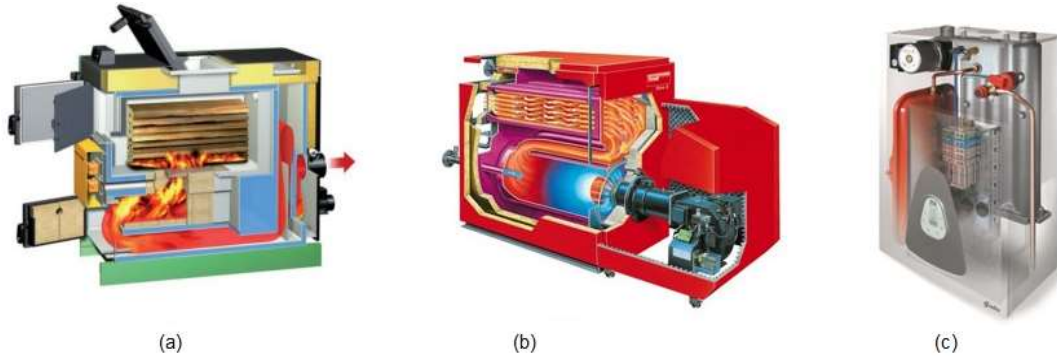
Фигура 3.8 Оребрен тръбен топлообменник

3.3. Спомагателен източник на топлина

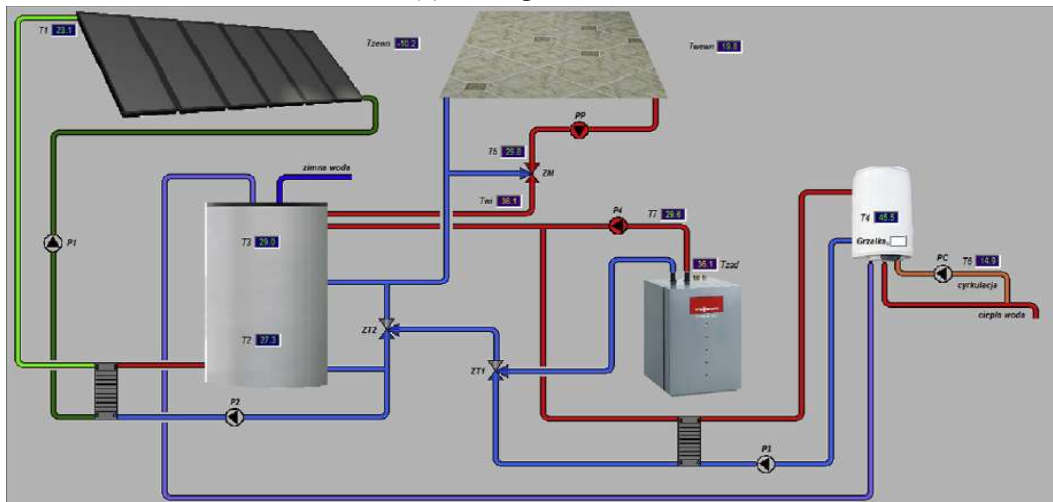
Соларните системи за отопление на дадено пространство са много по-сложни от системите, осигуряващи само битова гореща вода. Те трябва да бъдат снабдени с помощни източници на топлина (Фигура 3.9), които могат да бъдат както котли на

твърдо гориво (дърва, въглища, пелети), така и на течно, газообразно или електрически.

Соларните инсталации често се комбинират и с термопомпи - Фигура 3.10.



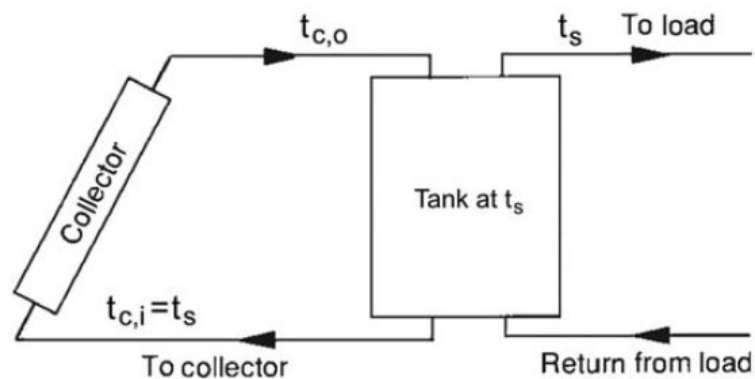
Фигура 3.9 (a) котел на твърдо гориво; (b) котел на течно/газообразно гориво; (c) електрически котел.



Фигура 3.10 Визуализация на соларна отоплителна инсталация с термопомпа.

3.4. Акумулиращ съд/Бойлер

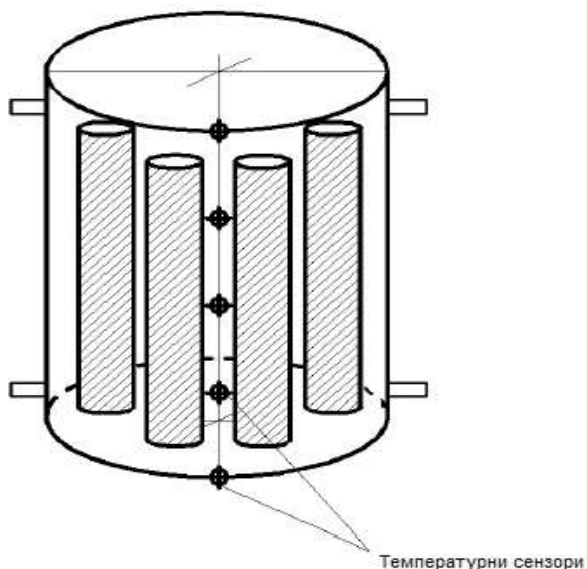
Типична система, при която се използва резервоар за съхранение на гореща вода, е показана на Фигура 3.11.



Фигура 3.11 Соларна система, използваща резервоар за съхранение на гореща вода

3.5. Иновативен дизайн и избор на акумулиращ съд с фазово-променящ се материал

Фазово-променящите се материали (ФПМ) / Phase-change material (PCM) използвани за съхранение на топлина, са химични вещества, които преминават през преход от твърдо в течно състояние при температури в желания диапазон за отопление и охлаждане. По време на процеса на преход материалът абсорбира енергия, когато преминава от твърдо в течно състояние и освобождава енергия, докато се връща от течно в твърдо състояние. Резервоарът за съхранение на вода е изработен от стомана, като в общия му обем са разположени запълнени с ФПМ (парафин) затворени цилиндрични тръбни контейнери (фиг.3.12).



Фигура 3.12 Конструкция на акумулиращ съд с фазово променящ се материал

3.6. Сградна отоплителна инсталация

Първата стъпка обикновено е изборът на генератор на топлина и енергоносител - твърдо гориво, газ, нафта, ток; при необходимост и от отопление, и от охлаждане. Вариантите са няколко:

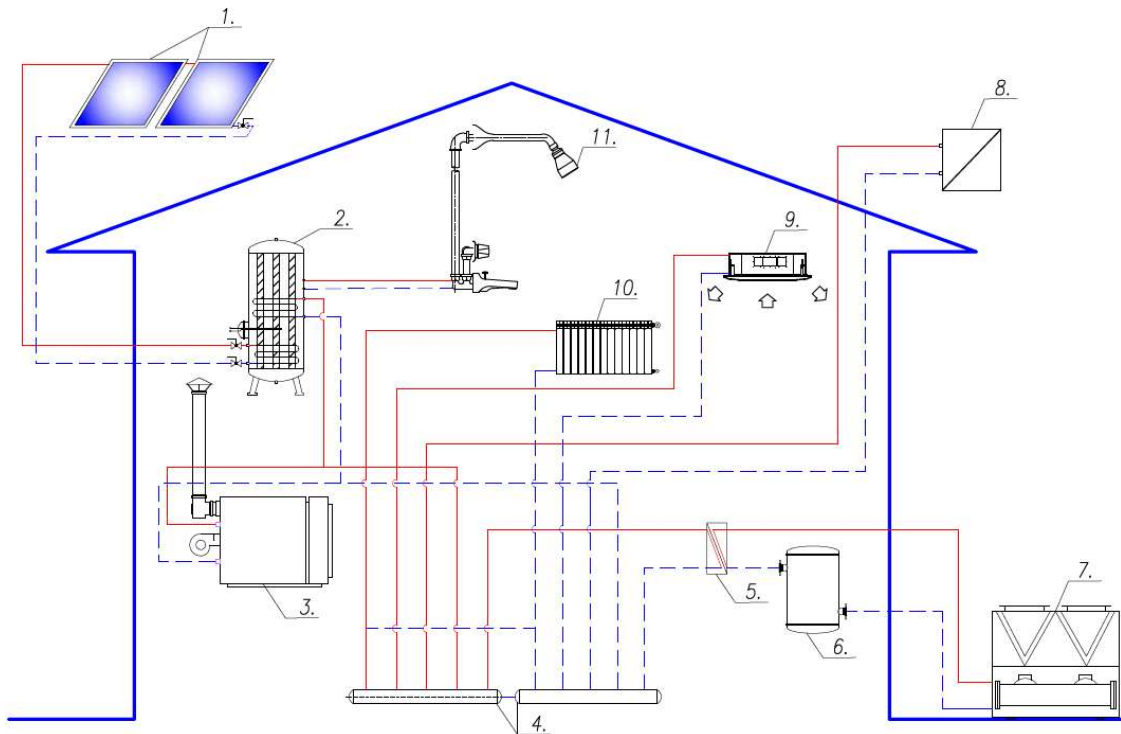
- *Отопителна инсталация с котел*
- *Инсталация с термопомпа*
- *Възможности за използване на възобновяеми енергийни източници*

3.7. Контролер

Автоматизираното управление на сградните отоплителни инсталации се осъществява централизирано, с мрежови платформи или децентрализирано – чрез локални контролери, терморегулатори и други модули

3.8. Иновативна комбинирана система за съхранение на топлинна енергия и топлоснабдяване в сграда.

Иновативната система за съхранение на топлинна енергия, включваща ФПМ, се използва за съхраняване на излишната енергия като латентна топлина (Фигура 3.13).



Фигура 3.13 Сградна отоплителна инсталация с акумулиращ съд с ФПМ

Елементите на инсталацията са:

1. Соларни панели за битова гореща вода;
2. Акумулиращ съд за битова гореща вода с ФПМ;
3. Отоплителен котел на пелети;
4. Водоразпределители;
5. Пластинчат топлообменник;
6. Буферен съд;
7. Водоохлаждащ агрегат;
8. Воден топлообменник вода-въздух (вентилация);
9. Вентилаторен конвектор тип касета;
10. Радиатор;
11. Водочерпни прибори.

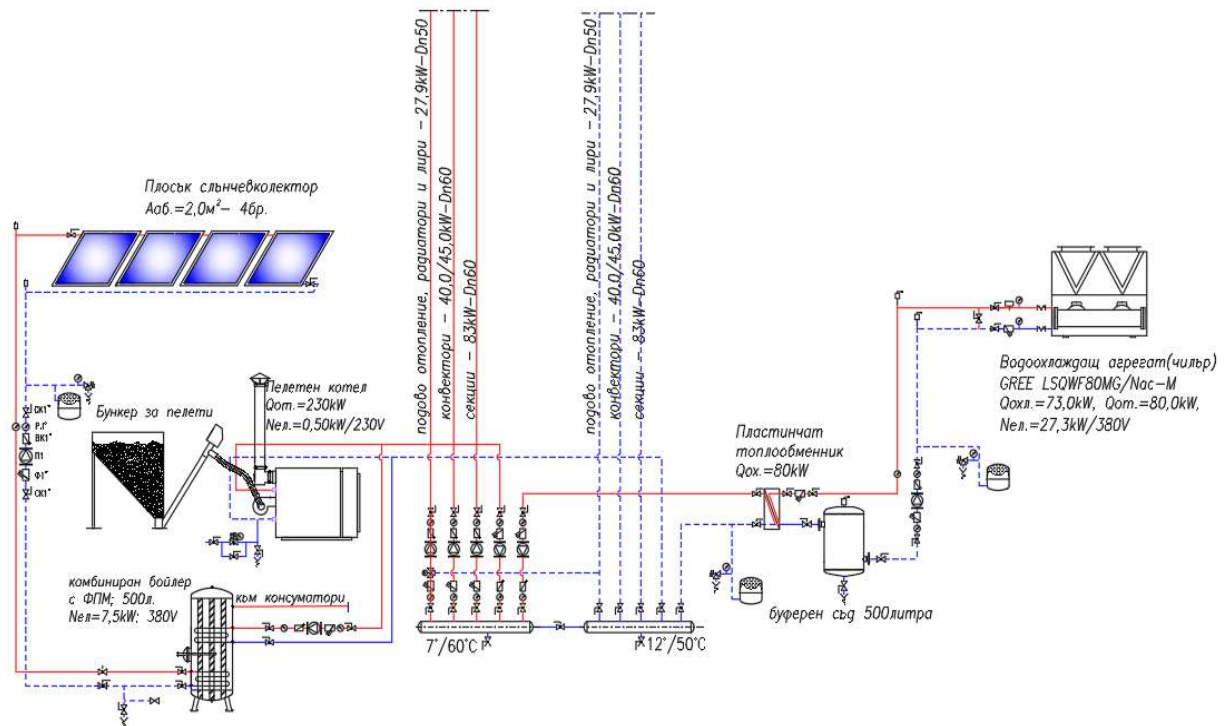
Глава IV. Експериментални резултати и симулации.

4.1. Описание на обекта и схема на отоплителната инсталация

Разглежданият обект представлява ресторант в новострояща се сграда, в която са обособени следните помещения: зала за посетители, кухня със спомагателни помещения, офис, складове и санитарни възли.

За отопление е предвиден водогреен котел на пелети с бункер и термопомпен климатичен агрегат „въздух-вода“. Захранването на бойлера, отоплителните секции, въздушната завеса, подовото отопление и останалите отоплителни тела е през отделни щрангове, оборудвани с циркулационни помпи с електронно управление (Фигура 4.1).

За снабдяване на обекта с гореща вода се предвижда неръждаем бойлер с две серпентини и обем от 500л. През отоплителния сезон водата ще се загрява чрез циркулация от котела, а през лятото ще се загрява с помощта на четири плоски слънчеви колектора, които ще се монтират на покрива под ъгъл 45° в посока юг. Връзката между бойлера и колекторите се осъществява с медни тръби с изолация, а циркулацията става с помпена група с микропроцесорно управление. За поемане на разширенията на водата в слънчевата система е предвиден затворен разширителен съд. Бойлера разполага и с допълнителен електронагревател с мощност 7,5kW.



Фигура 4.1 Принципна схема на комбинирана отоплителна инсталация

Характеристиките на заложените в инсталацията соларни панели са посочени в таблица 4.1

Монтажен наклон	45°
Площ на абсорбиращата повърхност	46р. X 2m ² = 8m ²
Проводимост на повърхността, U _c	8,0 W/m ² .K
Коефициент на топлопреминаване на водата в тръбата, h _w	1500 W/m.K
Пропускливост на капака, τ	0,9
Соларна поглъщателна способност на медната повърхност, α	0,9
Температура на постъпващата в акумулацията вода от соларната система, T _{fi}	65°C

Таблица 4.1 Характеристики на слънчевите колектори

4.2. Изчисляване на годишно потребление на енергия за гореща вода.

Годишното потребление на енергия битова гореща вода БГВ, включително топлинни и циркуляционни загуби, може да бъде записано:

$$Q_{demand} = Q_{DHW} + Q_{losses} ,$$

Енергията, необходима за повишаване на температурата на водата, пренебрегвайки загубите, се намира от:

$$Q_{DHW} = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta T}{3600}, kWh/ден,$$

където:

m (kg) – количеството загрята вода

c_p (kJ/kg.°K) – специфичен топлинен капацитет на водата

ΔT (°K) – температурна разлика

Загубите могат да бъдат изчислени, като се вземат предвид статичните загуби на акумулацията съд и коефициента на загуби от циркулация за тръбопровода:

$$Q_{losses} = Q_{SHL} + Q_{circ} ,$$

където:

Q_{SHL} (kWh/day) – статични загуби

Q_{circ} (kWh/day) - загуби от циркулация за тръбопровода

$Q_{circ} = k \cdot Q_{DHW}$, $k(\%)$ – коефициент на циркуляционни загуби

Годишното потребление на енергия за гореща вода може да се изрази по следния начин:

$$Q_{demand} = [(1 + k) \cdot Q_{DHW} + Q_{SHW}] \cdot 365, kWh/годишно$$

Следователно за разглеждания акумулатор съд с обем $V = 500$ l, статични загуби 2,5 kWh/ден (клас на енергийна ефективност B) и загуби от циркулация 20%, необходимата енергия за БГВ ще бъде:

$$Q_{DHW} = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta T}{3600} = \frac{500 \cdot 4,18 \cdot (60 - 10)}{3600} = 29,02 kWh/ден$$

$$Q_{demand} = [(1 + k) \cdot Q_{DHW} + Q_{SHW}] \cdot 365 =$$

$$= [(1 + 0,2) \cdot 29,02 + 2,5] \cdot 365 = 13623 \text{ kWh/годишно}$$

Количеството топлина, съхранено във водата, се изразява чрез уравнението:

$$Q_{H_2O} = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q_{H_2O} = 0,5 \cdot 1000 \cdot 4,18 \cdot 50 = 104500 \text{ kJ}$$

4.3. Определяне площта на колекторите.

След изчисляване на годишното потребление на енергия, следва да се определи колекторната площ, която да покрие част от необходимата енергия.

На годишна база тази енергия се изчислява по следния начин:

$$Q_{solar} = Q_{demand} \cdot S_{sf},$$

където:

S_{sf} – соларна фракция в диапазона 30% - 60% (показва каква част от общата потребна енергия се доставя от слънчева топлина).

При соларна фракция 50% получаваме:

$$Q_{solar} = 13623 \cdot 60\% = 8174 \text{ kWh/годишно}$$

Годишният слънчев добив, получен от слънчевите колектори е:

$$Q_{solar} = Q'_{solar} \cdot A_{apmin},$$

където:

Q'_{solar} – специфични годишни слънчеви печалби спрямо ориентация, ъгъл на монтаж и засенчване (за територията на гр. София $Q'_{solar} = 1200 \text{ W/m}^2$ годишно).

A_{apmin} – минимална площ на абсорбиращата повърхност (m^2).

След преобразуване на горното уравнение, получаваме необходимото количество абсорбираща повърхност, което отговаря на слънчевия принос на база годишно потребление на енергия:

$$A_{apmin} = \frac{Q_{solar}}{Q'_{solar}},$$

За разглежданите условия получаваме:

$$A_{apmin} = \frac{8174}{1200} = 6,8 \text{ m}^2$$

За инсталацията са предвидени $n = 4$ бр. слънчеви колектори с абсорбираща повърхност $A_{apcoll} = 2,0 \text{ m}^2$ всеки.

Общата абсорбираща повърхност ще бъде:

$$A_{ap} = n \cdot A_{apcoll} = 4 \cdot 2 = 8,0 \text{ m}^2$$

Годишните печалби от слънчево греене за инсталацията ще бъдат:

$$Q_{solar} = Q'_{solar} \cdot A_{ap} = 1200 \cdot 8 = 9600 \text{ kWh/годишно}$$

4.4. Хидравлично оразмеряване на соларната инсталация

Подредбата на соларните панели оказва пряко въздействие върху дебита на системата и следователно върху избора на тръбопроводи и циркуляционна помпа.

На практика трябва да поддържаеме оформлението на колекторния масив просто, като същевременно свеждаме до минимум спада на налягането в полето на колектора. Също така трябва да се вземе предвид, че групирането на твърде много колектори ще повлияе върху ефективността, особено върху последните няколко колектори във всяка серия, тъй като те започват да работят при по-високи температури и това се отразява на тяхната производителност.

За постигане на добър хидравличен баланс трябва да се вземе под внимание, че нито една серия колектори не трябва да бъде по-голяма от 10 m^2 . В идеалния случай стремежът е към четен брой колектори и балансиран тръбопровод. При големи системи общият брой колектори трябва да могат да бъдат разделени на 3 или 4, за да се получи подходящ колекторен масив.

При оразмеряване на тръбопровода се стремим да постигнем следното:

- Минимизиране спада на налягането и следователно намаляване размера на помпата и консумацията на енергия
- Поддържане скоростта в тръбопровода между $0,4 - 1,0 \text{ m/s}$
- Осигуряване на необходимо пространство за тръбопровода
- Рентабилен избор на тръби и фитинги по отношение на материалите и труда

4.5. Изчисляване обема на акумулиращ съд ФПМ

Технологията за съхранение на латентна топлина намалява температурните колебания и предлага по-висок капацитет за съхранение на топлина на единица обем/маса. Температурата и количеството на съхранената енергия могат да бъдат регулирани чрез избор на специфичен фазово-променящ се материал.

Съхранената топлина се пренася чрез топлоносител (вода или въздух) в топлообменник. Когато температурата на топлоносителя T_f е по-ниска от температурата на синтез ($T_f < T_m$), фазово-променящият се материал се втвърдява и освобождава топлината си на синтез към топлоносителя. Респективно, когато температурата на топлоносителя е по-висока от температурата на синтез ($T_f > T_m$), фазово-променящият се материал започва да се топи и съхранява топлината.

Избраният материал с променлива фаза е парафин с маса 50 kg. Общата топлина, съхранявана от твърдо-течен фазово-променящ се материал между началната и крайната температура се определя:

$$Q_{PCM} = m[C_{ps}(T_m - T_i) + \Delta H_f + C_{pl}(T_f - T_m)]$$

$$Q_{PCM} = 50[1,05 \cdot (54 - 46) + 213 + 2,384 \cdot (68 - 54)] = 12738,8 \text{ kJ} = 3,538 \text{ kWh}$$

Водният обем, който може да компенсира общата топлина, съхранявана в парафина, се изчислява съгласно:

$$V_{H_2O(PCM)} = \frac{E}{c_p \cdot \Delta T},$$

където:

$V_{H_2O(PCM)}$ – обем на загрялата от ФПМ вода (l);

$c_p = 4184 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ – специфичен топлинен капацитет на водата;

ΔT - температурна разлика на ФПМ (22°C);

E – Енергията, съхранена във ФПМ (J).

Следователно:

$$V_{H_2O(PCM)} = \frac{12738800}{4184,22} = 3044,3 \text{ l} = 3,044 \text{ m}^3$$

Количеството парафин в m^3 ще бъде:

$$V_{PCM} = \frac{m_{PCM}}{\rho_{PCM}},$$

където:

m_{PCM} – масата на ФПМ (kg);

ρ_{PCM} – плътността на ФПМ (kg/m^3).

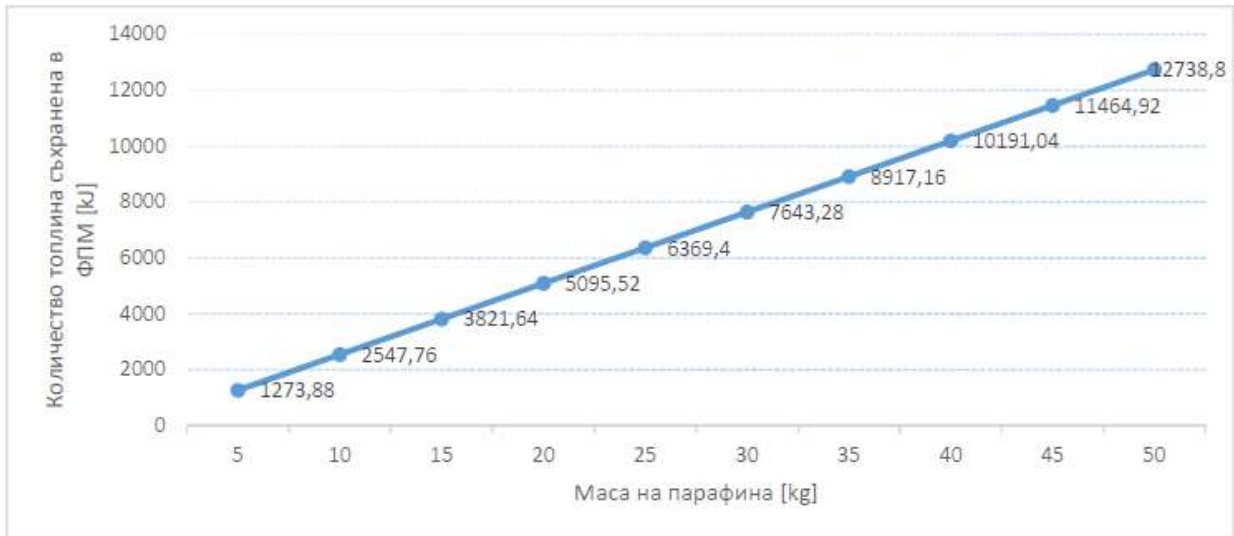
В конкретния случай получаваме:

$$V_{PCM} = \frac{50}{778} = 0,064 \text{ m}^3$$

Вследствие на гореизложеното, обемът на акумулация съд (V_1) с ФПМ ще бъде:

$$V_1 = V - V_{H_2O(PCM)} + V_{PCM} = 0,5 - 0,138 + 0,064 = 0,426 \text{ m}^3$$

Повишаването на масата на парафина в акумулацията води до повишаване на количеството съхранена енергия (Фигура 4.2).



Фигура 4.2 Количество топлина съхранено в парафина в зависимост от масата

Заклучение:

Капсулованите материали с променлива фаза могат да запазят температурата на водата, излизаща от акумулацията, особено когато температурата на входящата вода е понижена през нощта. Освен това, особено важно е резервоарът с фазово-променящ се материал да бъде изолиран добре, тъй като изолацията повишава производителността на материала. Също така съществуват и някои неудобства, които произтичат от характеристиките на ФПМ. Поради ниската топлопроводимост на материала, зареждането и разреждането на резервоара отнема време. Ниската скорост на пренос на топлина между топлоносителя и ФПМ води до по-малко ефективни топлинни системи. Поради тази причина е желателно да се използват капсуловани ФПМ, за да се увеличи площта на топлопреминаване между материала и топлоносителя. Капсуловането на ФПМ във формата на сфера около топлообменника показва стабилност на цикъла и по-добри показатели на резервоара за съхранение на топла вода.

П Р И Н О С И :

Приносите в дисертацията имат основно научно-приложен характер и са както следва:

1. След детайлен обзор е направен критичен анализ и систематизация на видове енергийни източници.
2. Обсъдени са съществуващи методи за съхранение на енергия с цел избор на метод за съхранение на топлинна енергия.
3. Изследвани са иновативни примери за съхранение на топлинна енергия и е предложен иновативен подход за съхранение на топлинна енергия, базиран на фазово изменение на материалите.
4. Разработена е иновативна комбинирана система за съхранение на топлинна енергия и топлоснабдяване в сграда.
5. Направени са експериментални изчисления и технико-икономически анализ с предложените подходи и разработените системи.
6. В експерименталната разработка са приложени иновативни решения с цел енергийна ефективност и многофункционални интелигентни информационно-комуникационни технологии
7. Резултатите са апробирани във фирма „МАРТМАКС“ ООД.

Публикации по темата на дисертацията:

1. **Yosifova V., Haralampieva M.** Проучване и оценка на съществуващи и иновативни технологии за съхранение на енергия. XXVIII Международна научно-техническа конференция – АДП 2019, 2019, ISSN:1310 -3946, 321-326
2. **Haralampieva M.** НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛИ ЗА СЪХРАНЕНИЕ НА ТОПЛИННА ЕНЕРГИЯ. ROBOTICS, AUTOMATION AND MECHATRONICS ' 20, Prof. Marin Drinov Academic Publishing House, 2020, ISSN:1314-4634, 22-26
3. **Yosifova V., Stoimenov N., Haralampieva M.** On-site research with thermal camera on industrial heating. The International Conference on Technics, Technologies and Education ICTTE 2020, 1032, 2021, DOI:10.1088/1757-899X/1031/1/012082, SJR (Scopus):0.2
4. **Haralampieva M., Petrov R., Yosifova V.** ИНТЕГРИРАНЕ НА СОЛАРНИ ВЪЗОбНОВЯЕМИ ЕНЕРГИЙНИ СИСТЕМИ В СГРАДИ. ПРИЛОЖЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ.. XXX Международна научно-техническа конференция – АДП 2021, 2021, ISSN:2682-9584, 61-64
5. **Petrov, R., Haralampieva, M.** Интелигентни технологии и умни домове. ROBOTICS, AUTOMATION AND MECHATRONICS ' 21, Prof. Marin Drinov Academic Publishing House, 2021, ISSN:1314-4634
6. **Милена Харалампиева, Росен Петров.** Разработка на комбинирана отоплителна инсталация, използваща сезонно съхранение на соларна енергия. ROBOTICS, AUTOMATION AND MECHATRONICS ' 21, Prof. Marin Drinov Academic Publishing House, приета за печат: 2021, ISSN:1314-4634

ДЕКЛАРАЦИЯ

Фирма "МАРТМАКС" ООД декларира, че разработеният от маг. инж. Милена Бисерова Харалампиева иновативен модел за "Интелигентно управление на източници за съхранение на топлинна енергия" представлява интерес за нашата фирма и ние ще го използваме в нашата практика за проектиране и изпълнение на едно- и многофамилни жилищни сгради.

11.2021г.

Мартин Сариев



управител/