

Abstracts of Dissertations

Institute of Information and
Communication Technologies

BULGARIAN ACADEMY OF
SCIENCES



3 / 2022



INTELLIGENT
MANAGEMENT OF
THERMAL ENERGY
SOURCES

Milena Haralampieva

ИНТЕЛИГЕНТНО
УПРАВЛЕНИЕ НА
ИЗТОЧНИЦИ НА ТОПЛИННА
ЕНЕРГИЯ

Милена Харламбиева

Автореферати на дисертации

Институт по информационни и
комуникационни технологии

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

ISSN: 1314-6351

Поредицата „Автореферати на дисертации на Института по информационни и комуникационни технологии при Българската академия на науките“ представя в електронен формат автореферати на дисертации за получаване на научната степен „Доктор на науките“ или на образователната и научната степен „Доктор“, защитени в Института по информационни и комуникационни технологии при Българската академия на науките. Представените трудове отразяват нови научни и научно-приложни приноси в редица области на информационните и комуникационните технологии като Компютърни мрежи и архитектури, Паралелни алгоритми, Научни пресмятания, Лингвистично моделиране, Математически методи за обработка на сензорна информация, Информационни технологии в сигурността, Технологии за управление и обработка на знания, Грид-технологии и приложения, Оптимизация и вземане на решения, Обработка на сигнали и разпознаване на образи, Интелигентни системи, Информационни процеси и системи, Вградени интелигентни технологии, Йерархични системи, Комуникационни системи и услуги и др.

Редактори

Геннадий Агре

Институт по информационни и комуникационни технологии, Българска академия на науките
E-mail: agre@iinf.bas.bg

Райна Георгиева

Институт по информационни и комуникационни технологии, Българска академия на науките
E-mail: rayna@parallel.bas.bg

Даниела Борисова

Институт по информационни и комуникационни технологии, Българска академия на науките
E-mail: dborissova@iit.bas.bg

Настоящото издание е обект на авторско право. Всички права са запазени при превод, разпечатване, използване на илюстрации, цитирания, разпространение, възпроизвеждане на микрофилми или по други начини, както и съхранение в бази от данни на всички или част от материалите в настоящето издание. Копирането на изданието или на част от съдържанието му е разрешено само със съгласието на авторите и/или редакторите

The series Abstracts of Dissertations of the Institute of Information and Communication Technologies at the Bulgarian Academy of Sciences presents in an electronic format the abstracts of Doctor of Sciences and PhD dissertations defended in the Institute of Information and Communication Technologies at the Bulgarian Academy of Sciences. The studies provide new original results in such areas of Information and Communication Technologies as Computer Networks and Architectures, Parallel Algorithms, Scientific Computations, Linguistic Modelling, Mathematical Methods for Sensor Data Processing, Information Technologies for Security, Technologies for Knowledge management and processing, Grid Technologies and Applications, Optimization and Decision Making, Signal Processing and Pattern Recognition, Information Processing and Systems, Intelligent Systems, Embedded Intelligent Technologies, Hierarchical Systems, Communication Systems and Services, etc.

Editors

Gennady Agre

Institute of Information and Communication Technologies, Bulgarian Academy of Sciences
E-mail: agre@iinf.bas.bg

Rayna Georgieva

Institute of Information and Communication Technologies, Bulgarian Academy of Sciences
E-mail: rayna@parallel.bas.bg

Daniela Borissova

Institute of Information and Communication Technologies, Bulgarian Academy of Sciences
E-mail: dborissova@iit.bas.bg

This work is subjected to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the materials is concerned, specifically the rights of translation, reprinting, re-use of illustrations, recitation, broadcasting, reproduction on microfilms or in other ways, and storage in data banks. Duplication of this work or part thereof is only permitted under the provisions of the authors and/or editor.



BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES

Abstract of PhD Thesis

INTELLIGENT MANAGEMENT OF THERMAL ENERGY SOURCES

Milena Biserova Haralampieva

Supervisor: Prof. Dimitar Karastoyanov

Approved by Supervising Committee:

Prof. Todor Neshkov

Prof. Rumen Trifonov

Prof. Ivo Malakov

Prof. Todor Stoilov

Assoc. Prof. Naiden Shivarov



**INSTITUTE OF INFORMATION AND
COMMUNICATION TECHNOLOGIES**
Department of Distributed and Control Systems

Chapter I. Energy sources type overview, analysis and systematization.

1.1. Energy storage systems nature and benefits

Energy supply and demand determine the course of global development in every field of human activity. Finding energy sources to meet the growing demand in the world is one of the main challenges of society in the next half century.

The most important directions in the development of methods and tools for energy management are the creation of economical, efficient technologies for energy storage and heat generation, as well as the creation of energy-saving technologies and application of materials and equipment that provide longer service life [1].

There are a number of methods for energy storage, and their use depends on factors such as purpose, resource, technical capability and more. From an economic point of view and due to the increasing energy efficiency requirements, their demand and research in their improvement are constantly increasing. Their use is extremely suitable for areas where the emphasis is on the production of energy from renewable sources such as sun and wind, as they create an opportunity to optimize production by ensuring a constant supply, despite the periodic source nature [2].

Intelligent management of energy storage systems leads to increased energy efficiency of both the systems themselves and the fields of integration, which in turn leads to:

- Environmental benefits
- Economic benefits

1.2. Energy

Energy is a scalar physical quantity that describes the ability of a system to change the state of its environment or to perform work. It exists in various forms, such as motion, heat, light, electrical, chemical, nuclear energy and gravitational. Total energy is the sum of all energy forms of the system.

1.3. Energy types

Primary and secondary types of energy are the two main types as shown in Figure 1.1. Primary energy is extracted or captured directly from the environment, while the secondary energy is converted from the primary energy in the form of electricity or fuel. Distinguishing the primary and secondary energy sources are important in the energy balances to count and record energy supply, transformations, and losses.

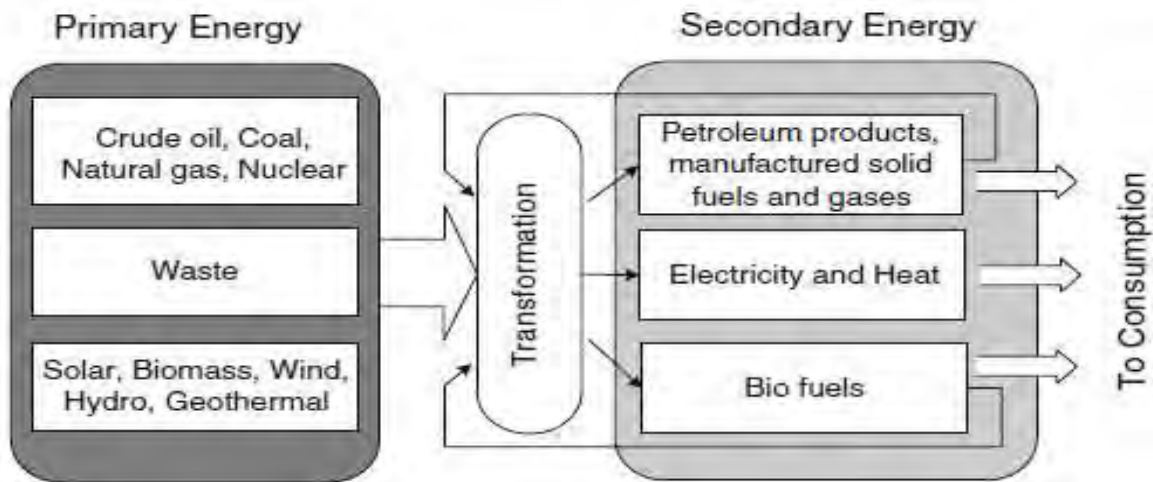


Figure 1.1 Primary and secondary energy types [3]

1.4. Nonrenewable energy sources

It is generally accepted that nonrenewable energy sources or fossil fuels are formed from the remains of dead plants and animals by exposure to heat and pressure in the earth's crust over the millions of years. Major nonrenewable energy sources are:

- Coal
- Petroleum
- Natural gas
- Nuclear

Fossil fuels contain high percentages of carbon and include mainly coal, petroleum, and natural gas. Natural gas, for example, contains only very low boiling point and gaseous components, while gasoline contains much higher boiling point components. The specific mixture of hydrocarbons gives a fuel its characteristic properties, such as boiling point, melting point, density, and viscosity. These types of fuels are known as nonrenewable energy sources.

1.5. Renewable energy sources

Renewable energy comes from natural resources and are naturally replenished. Major renewable energy sources are:

- Hydroelectric
- Solar energy

- Biomass
- Wind
- Geothermal heat
- Ocean

In its various forms, renewable energy comes directly from the sun, or from heat generated deep within the earth. In 2008, about 19% of global final energy consumption came from renewables, with 13% coming from traditional biomass, which is mainly used for heating, and 3.2% from hydroelectricity. Other renewables, such as small hydro, biomass, wind, solar, geothermal, and biofuels contributed around 2.7% and are growing rapidly [4].

1.6. Hydrogen

Hydrogen is the simplest element. Each atom of hydrogen has only one proton. The sun is basically a giant ball of hydrogen and helium gases. In the sun's core, hydrogen atoms combine to form helium atoms (called fusion process) and gives off radiant energy. This radiant energy sustains life on earth as it drives the photosynthesis in plants and other living systems, and is stored as chemical energy in fossil fuels.

Hydrogen does not exist on earth as a gas and is found only in compound form with other elements, such as water H₂O and methane CH₄. Hydrogen is produced from other resources including natural gas, coal, biomass, and even water. The two most common production methods are steam reforming and electrolysis in which the water is split into oxygen and hydrogen. Steam reforming is currently the least expensive and most common method of producing hydrogen, while the electrolysis is an expensive process.

1.7. Electric energy

The protons and electrons of an atom carry an electrical charge. Protons have a positive charge (+) and electrons have a negative charge (-). Opposite charges attract each other. The electrons in an atom's outermost shells do not attract strongly to the protons and can move from one atom to another and create electricity. The amount of electricity a power plant generates or a customer uses over a period of time is measured in kilowatt hours (kWh), which is equal to the energy of 1000 watts working for 1 h.

Most of the electricity used in the residential sector is for air conditioning, refrigerators, space and water heating, lighting, and powering appliances and equipment. Electricity is the fastest growing form of end-use energy worldwide and it is the most well-known energy carrier to transfer the energy in coal, natural gas, uranium, wind power, and other energy sources to homes, businesses, and industry. For many energy needs, it is much easier to use electricity than the energy sources themselves.

1.8. Magnetic energy

There is no fundamental difference between magnetic energy and electric energy: the two phenomena are related by Maxwell's equations. The potential energy of a magnet of magnetic moment m in a magnetic field B is defined as the work of magnetic force (magnetic torque).

1.9. Chemical energy

Chemical energy results from the associations of atoms in molecules and various other kinds of aggregates of matter. It may be defined as a work done by electric forces that is electrostatic potential energy of electric charges. If the chemical energy of a system decreases during a chemical reaction, the difference is transferred to the surroundings in the form of heat or light. On the other hand, if the chemical energy of a system increases as a result of a chemical reaction, the difference then is supplied by the surroundings in form of heat or light. Typical values for the change in molar chemical energy during a chemical reaction range from tens to hundreds of kilojoules per mole.

1.10. Energy and global warming

The burning of fossil fuels produces around 21,3 Gigatons of carbon dioxide per year, and natural processes can only absorb about half of that amount, so there is a net increase of 10,65 billion tons of atmospheric carbon dioxide per year.

One tonne of carbon is equivalent to: $MW_{CO_2} / MW_C = 44/12 = 3,7$ tons of carbon dioxide [5].

1.11. Energy balances

Figure 1.2 shows an open system with mass and energy interactions with its surroundings.

- with no internal source of changing mass and energy;
- with an internal source of changing mass and energy.

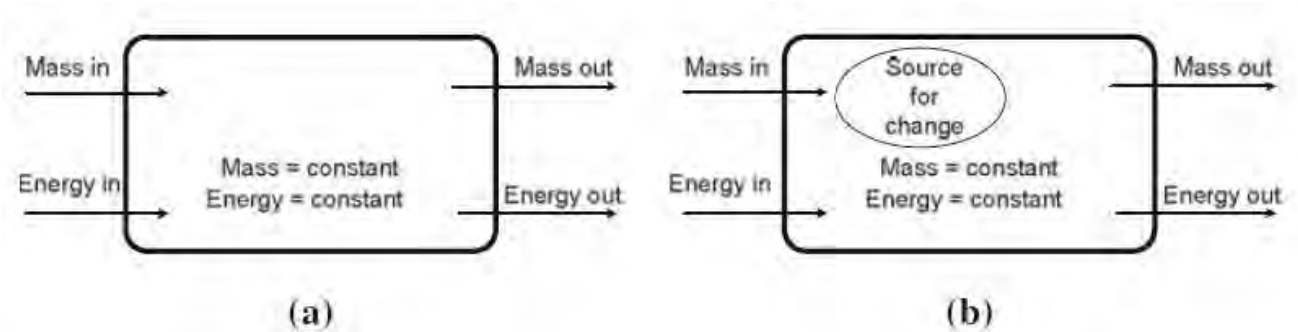


Figure 1.2 (a). An open system with no internal source of changing mass and energy. (b) An open system with internal source of changing mass and energy, entropy and exergy. [6]

Thesis purpose and tasks:

Purpose:

The main thesis purpose is an Innovative approaches development to improve solar heat storage systems.

To achieve this purpose, the following tasks will be solved:

Tasks:

1. A detailed overview, analysis and systematization of the types of energy sources and to review the existing methods and tools for research and management of energy storage sources will be made .
2. Innovative approaches to thermal energy storage will be explored and an innovative approach based on phase change materials will be proposed.
3. An innovative combined system for heat storage and heat supply in a building will be developed
4. Experiments and simulations will be performed (experimental calculations and technical and economic analysis will be made) with the proposed approaches and the developed systems
5. The results will be tested

Chapter II. Existing methods and tools for energy storage sources research and management

2.1. Energy storage methods

For many energy technologies, storage is a crucial aspect. If we consider the storage of fuels as the storage of the energy embedded in them, then oil is an excellent example. The massive amounts of petroleum stored worldwide are necessary for the reliable, economic availability of gasoline, fuel oil, and petrochemicals.

Compressed air and pumped hydroelectric systems are two of the most widely used methods for long-term storage of electricity.

Thermal energy saving system's energy is accumulated when its production exceeds its consumption, and its access is provided by consumers when necessary. These systems keep energy supply and consumption to be in accordance, to balance the variable nature of renewable energy, to increase overall efficiency, and to reduce carbon dioxide emissions.

An energy storage system is usually characterized by: capacity, power, efficiency, storage period, charging / discharging time and price. Capacity, power and discharge time are interdependent variables. For example, in thermal energy storage systems (TES), high power means increased heat transfer (additional fins of the heat exchanger), which, for a certain volume, reduces the amount of material for active storage and thus reduces the capacity.

Thermal energy can be stored in the form of heat content in a storage medium, latent heat associated with phase changes of materials, or as thermochemical energy associated with chemical reactions occurring at temperatures from - 40 °C to above 400 °C.

Advanced new storage devices are often an integral part of other new technologies and can sometimes become more feasible through storage innovations. Advances in storage are beneficial, especially in wind and solar technologies. Also, new storage technologies can contribute a lot to the development of electric cars.

Energy storage methods can classify into several groups (Figure 2.1).

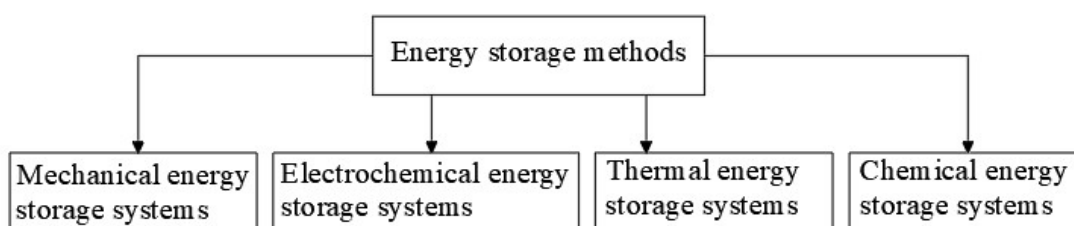


Figure 2.1 A classification of energy storage methods

2.1.1. Mechanical energy storage systems

Mechanical energy may be stored as the kinetic energy of linear or rotational motion, as the potential energy in an elevated object, as the compression or strain energy of an elastic material, or as the compression energy in a gas. It is difficult to store large quantities of energy in linear motion because one would have to chase after the storage medium continually. However, it is quite simple to store rotational kinetic energy. There are three main mechanical storage types: hydrostorage (Figure 2.2), compressed-air storage (Figure 2.3), and flywheels (Figure 2.4).

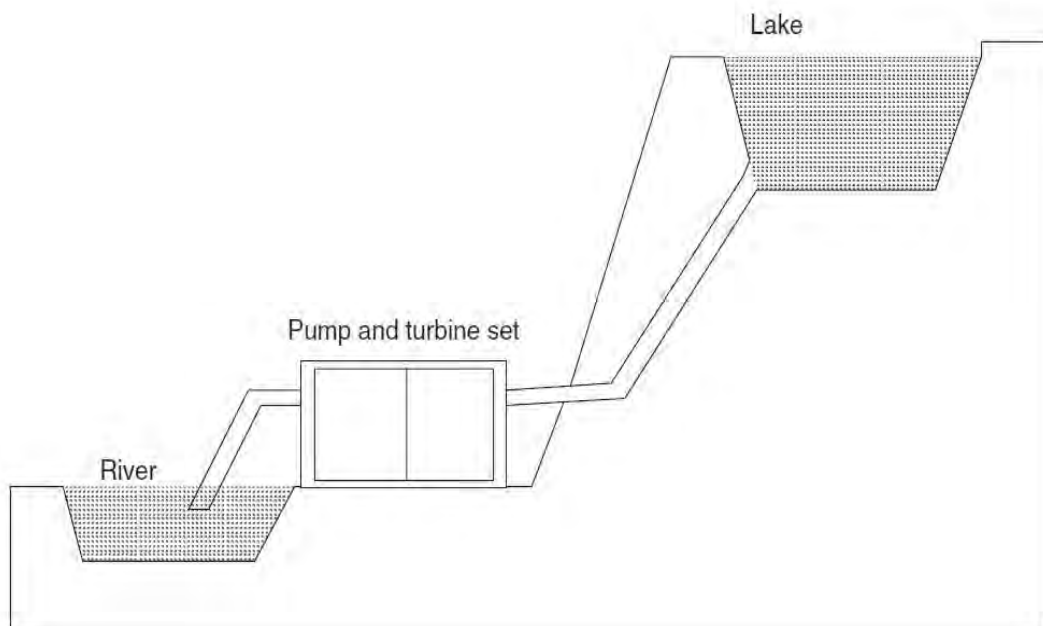


Figure 2.2 A pumped hydro storage plant [7]

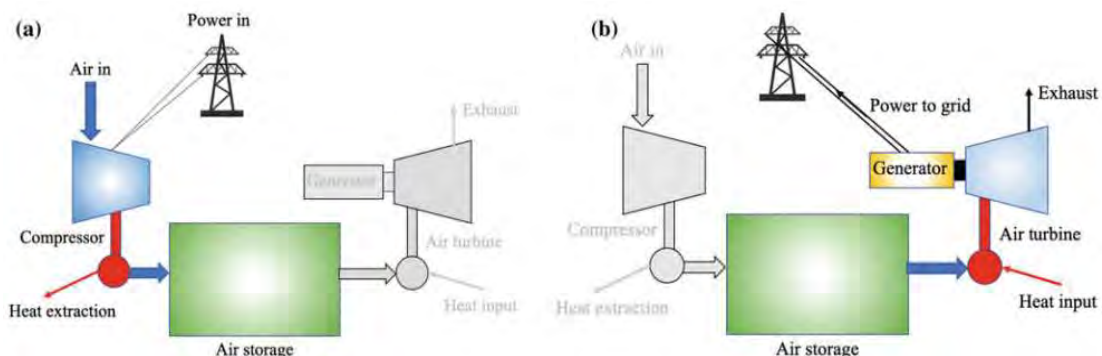


Figure 2.3 (a) Compressed-air system in charging mode; (b) discharging mode [7]

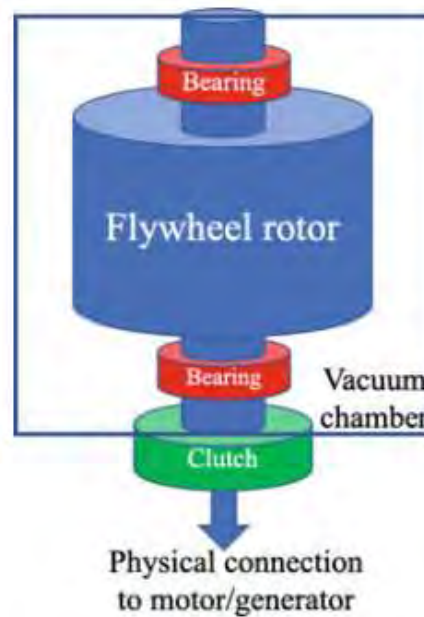


Figure 2.4. Main components of a flywheel energy storage system [8]

2.1.2. Electrochemical energy storage systems

Energy may be stored in systems composed of one or more chemical compounds that release or absorb energy when they react to form other compounds. The most familiar chemical energy saving device is the battery.

The lead–acid battery operates on the principle of the galvanic cell. A single-cell battery consists of two electrodes immersed in an electrolyte (Figure 2.5).

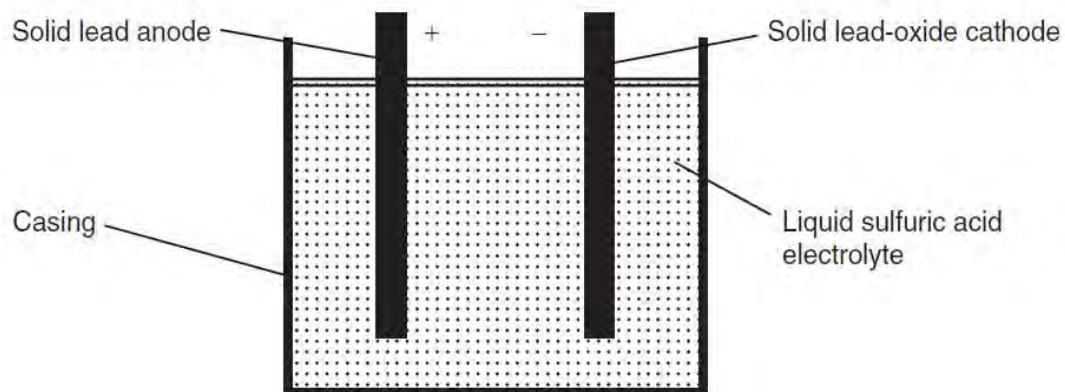
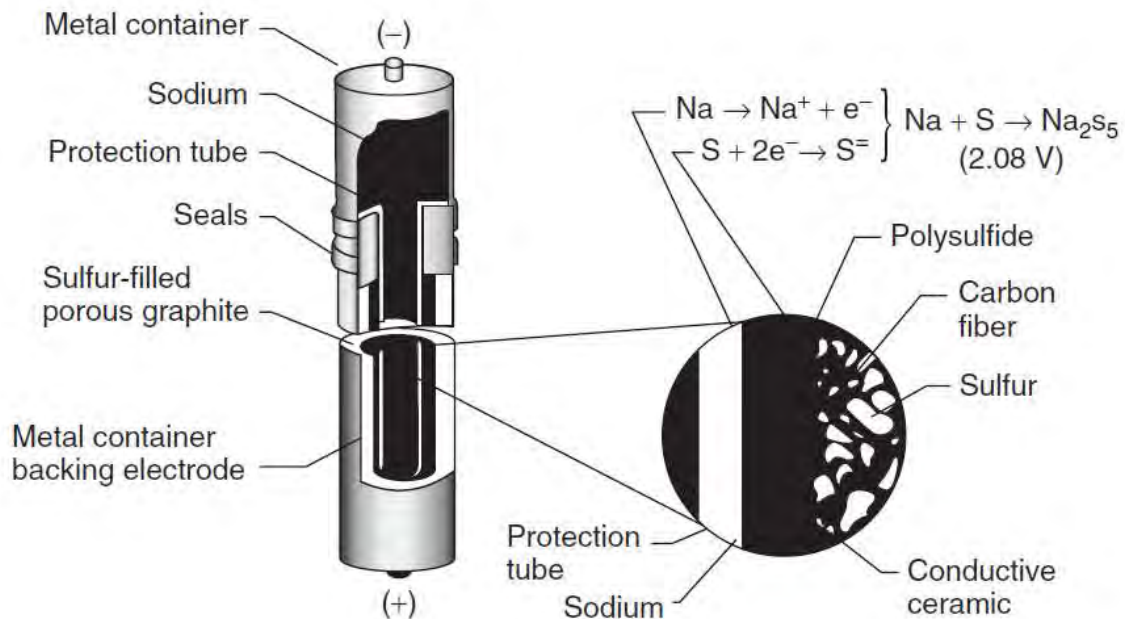


Figure 2.5. Schematic of a liquid-acid battery [9]

The Na–S battery (Figure 2.6) requires high-temperature operation.



Фигура 2.6 High-temperature sodium–sulfur battery [9]

2.1.3. Thermal energy storage systems

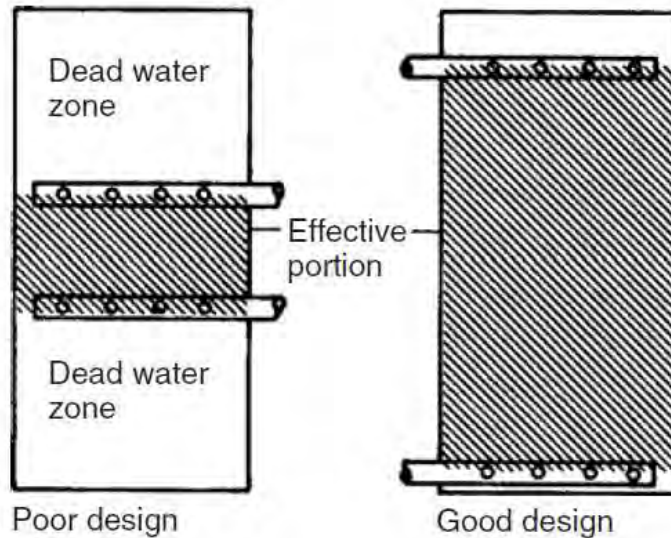
Thermal storage systems can store heat or cold to be used later in various conditions such as temperature, location or power. These systems are divided into three types: Sensible Heat Storage Systems, Latent Heat Storage Systems, and Thermochemical Heat Storage Systems.

Thermal energy saving (TES) tanks for use in heating, air-conditioning, and other applications have, in general, received increasing attention in recent years. Thermally stratified storage tanks have seen more widespread use recently (Figure 2.7).

Other commonly used materials in Sensible Heat Storage Systems are rocks and water. Rock is an inexpensive TES material from the standpoint of cost, but its volumetric thermal capacity is much less than that of water. The advantage of rock over water is that it can easily be used for TES above 100 °C. Rock-bed and water storage types can both be utilized in many ways (Figure 2.8).

Figure 2.9 illustrates the operating principle of simple Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) systems.

Solar ponds differ in several ways from natural ponds. Solar ponds are filled with clear water to ensure maximum penetration of sunlight. The bottom is darkened to absorb more solar radiation. Salt is added to make the water denser at the bottom and to inhibit natural convection. The cooler water on top acts as insulation and prevents evaporation. Salt water can be heated to high temperatures, even above the boiling point of fresh water (Figure 2.10).



Φuzypa 2.7 Position of inlet and outlet for a thermally stratified TES tank [10]

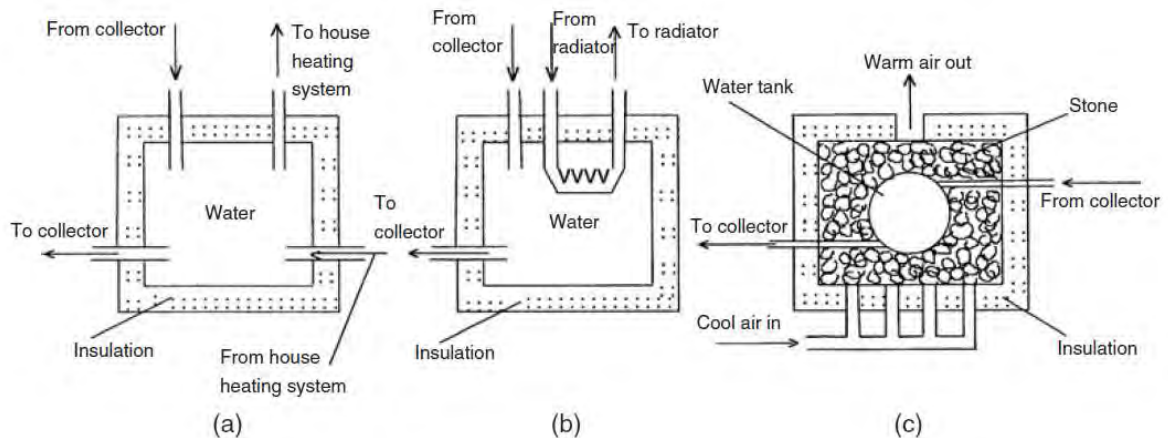


Figure 2.8 Solar storage tanks: (a) heat storage tank directly tied to both the collector and the house heating system, (b) sensible TES system using a heat exchanger to extract solar heat from a storage tank, and (c) using water and stone as storage media [10]

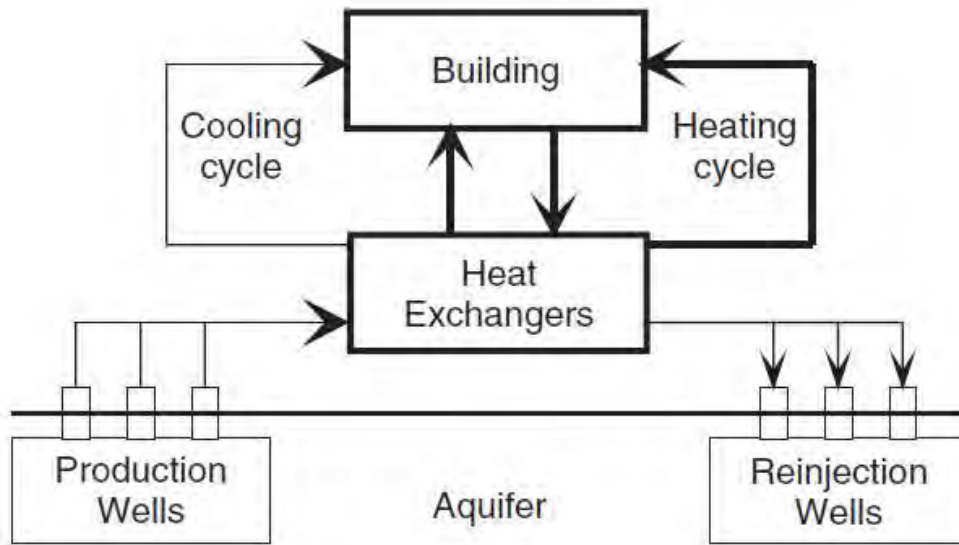


Figure 2.9 Schematic of the operation of an ATES system [10]

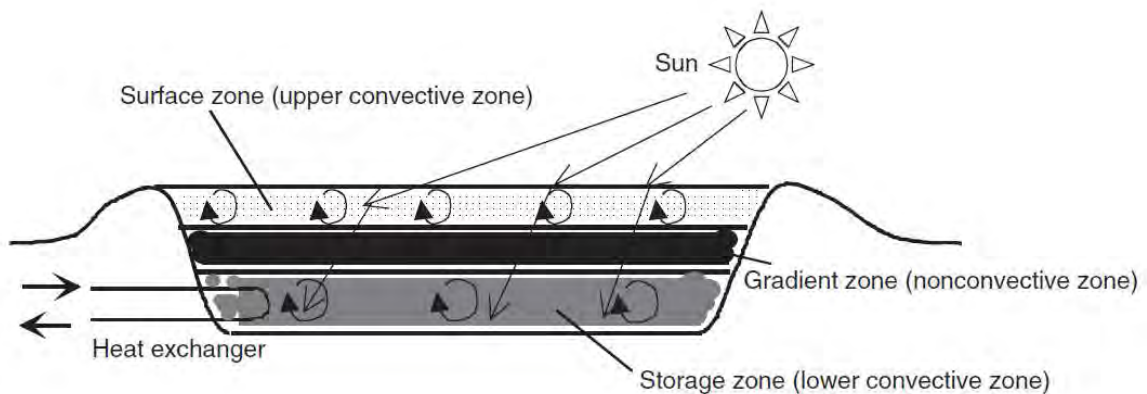


Figure 2.10 A cross-section representation of a typical salinity-gradient solar pond [10]

Another energy storage medium are zeolites. They are naturally occurring minerals with high heat of adsorption and ability to hydrate and dehydrate, while maintaining structural stability (Figure 2.11).

Knowledge of the melting and freezing characteristics of Phase Change Materials (PCMs), their ability to undergo thermal cycling, and their compatibility with construction materials is essential for assessing the short and long-term performance of a latent TES.

More than 20,000 compounds and mixtures have been considered as PCMs, including one-component systems, similar mixtures, fusible (eutectic) alloys, and liquids that are in equilibrium with the crystalline phases.

Sokolov and Keizman (1991) developed an attractive PCM application for hot water heating. The system contains a solar pipe consisting of two concentric pipes with the space between them filled with PCM (Figure 2.12).

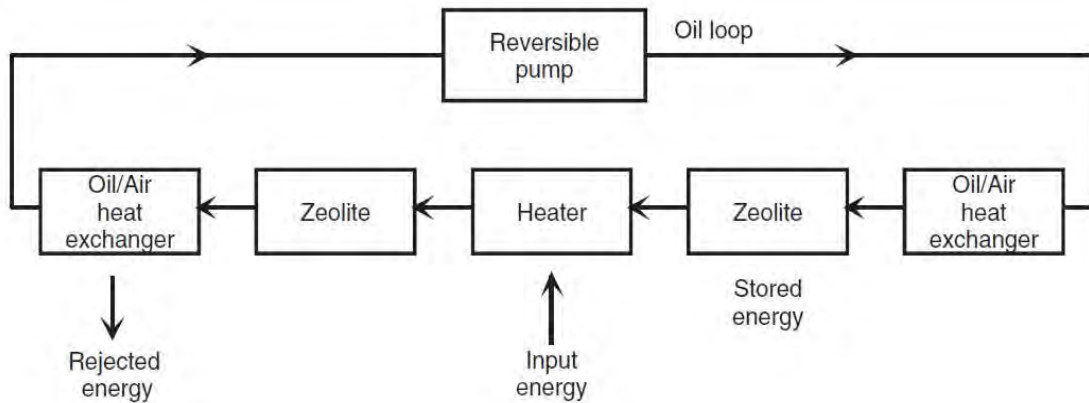


Figure 2.11 A process for using zeolites as a heat storage media [11]

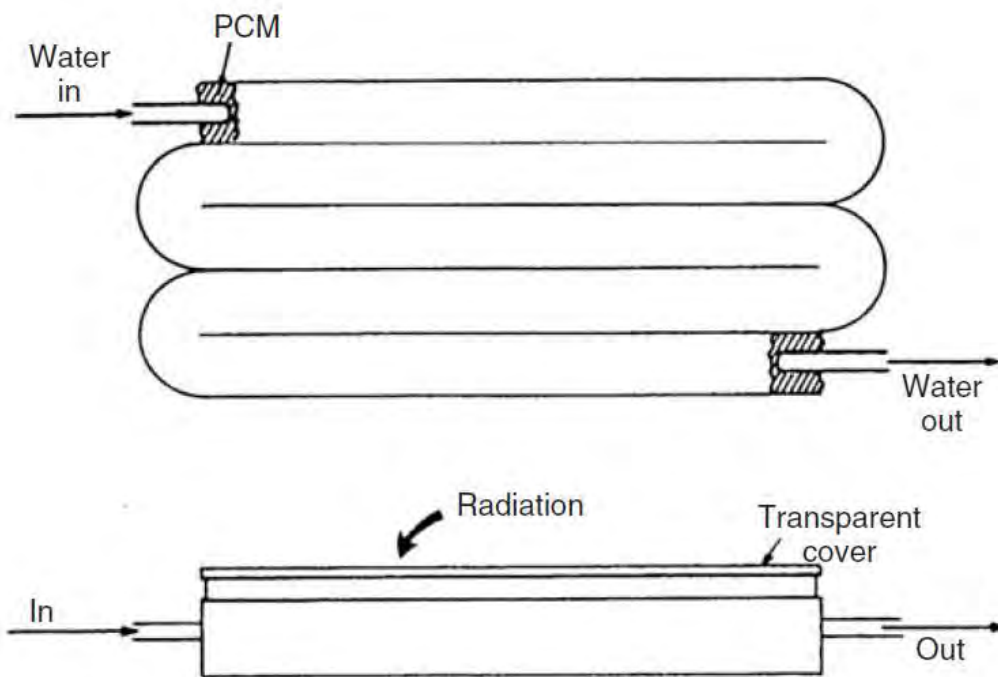


Figure 2.12 A solar TES pipe using a PCM [11]

2.1.4. Chemical energy storage systems

Figure 2.13 shows the relative relationship of energy densities when physical and chemical changes occur.

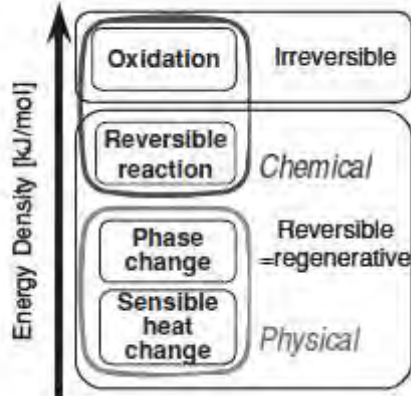


Figure 2.13 Energy density of physical and chemical changes [12]

Chapter III. Innovative approaches to improve solar heat storage systems.

Solar space heating significantly reduces the use of non-renewable energy sources and alleviates the degree of pollution of the environment and air. To solve the problems of solar instability and insufficient heat storage, an auxiliary heat source is usually added to solar heating systems.

The so-called "combi-system" is a heating system that supplies heat for domestic hot water and space heating in a building, using two energy sources - solar energy and any other auxiliary heat source (Figure.3.1).

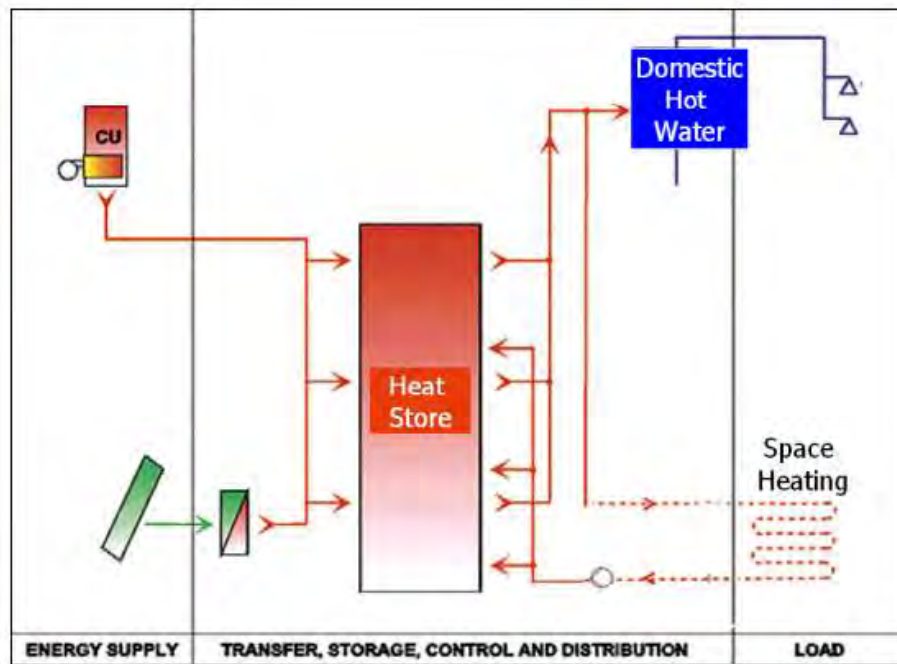


Figure 3.1 Solar system for domestic hot water and heating components [13]

3.1. Solar heat sources (Solar collectors)

A solar collector is the main component of any active solar thermal system. The main task of the solar collector is to collect solar energy, then convert it into the useful heat that is transferred by the working medium (water or antifreeze mixture), or air from collectors to the storage tank.

Main types of solar collectors used in buildings are listed according to their complexity and advancement of technology used:

- Low-temperature unglazed collectors, so-called swimming pool absorbers in the form of black absorbing plastic panels or strips;
- Flat-plate liquid solar thermal collectors;
- Evacuated tube collectors.

The essential element of a flat-plate solar collector is the absorber. The absorber absorbs solar radiation and converts it into heat that is transferred through its surface into liquid or air, which flows under the entire absorber plate or in tubes. A cross-section of a sample of flat plate liquid solar collector is shown in Figure 3.2.



Figure 3.2 A cross-section of a flat-plate liquid solar collector [14]

Evacuated collectors are primarily built as tubular collectors. However, flatplate evacuated collectors are also made and they usually are based on very large negative pressure, so-called imperfect vacuum. This type of collector is intended for large sized applications for large roof areas (Figure.3.3).



Figure 3.3 Double glass tube (Dewar tube) [15]

3.2. Heat exchanger

A heat exchanger is a heat transfer device that exchanges heat between two or more process fluids.

The four most common types of heat exchangers, based on the flow path configuration, are illustrated in Figure 3.4.

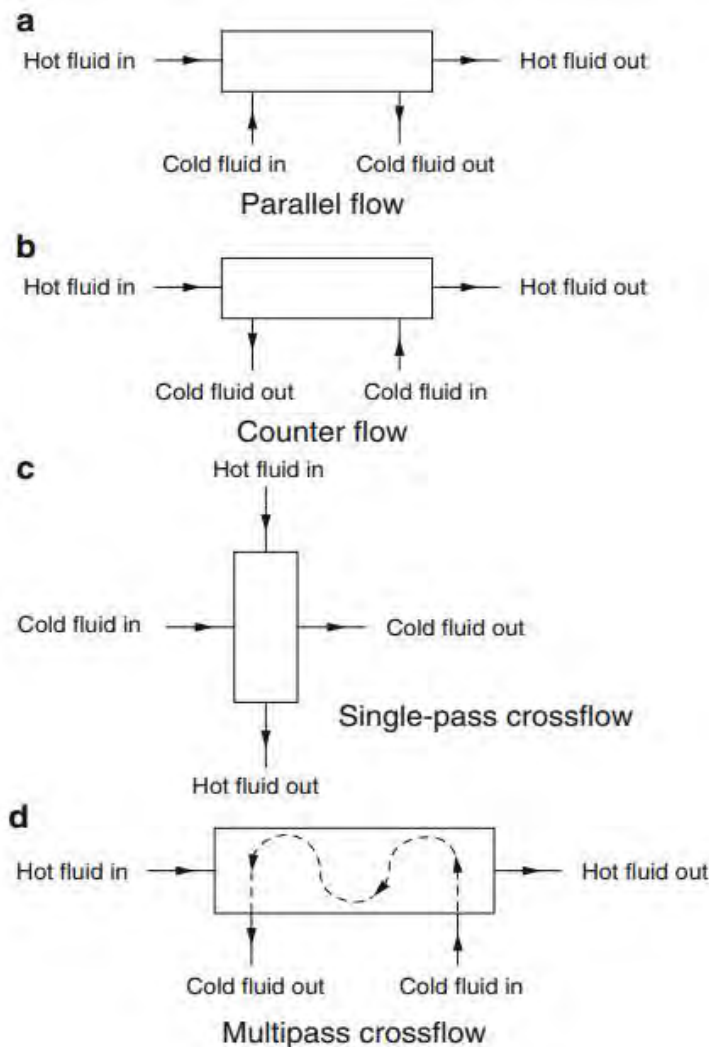


Figure 3.4 Heat exchangers classification according to the flow path configuration [16]

- In simultaneous or parallel streams, where hot and cold liquids connect at the same point, flow in the same direction and exit at the same end.
- In case of countercurrent, hot and cold liquids connect at opposite ends, flow in the opposite direction and exit at opposite ends.
- In single-pass cross-flow heat exchangers, one liquid moves through the heat transfer matrix at right angles to the flow path of the other liquid.
- In multi-pass cross-flow heat exchangers, one fluid flow moves up and down, crossing with the flow path of the other fluid.

According to the transfer processes, heat exchangers are classified as indirect and direct.

According to the design characteristics the heat exchangers can be:

- Shell and tube - Figure 3.5.

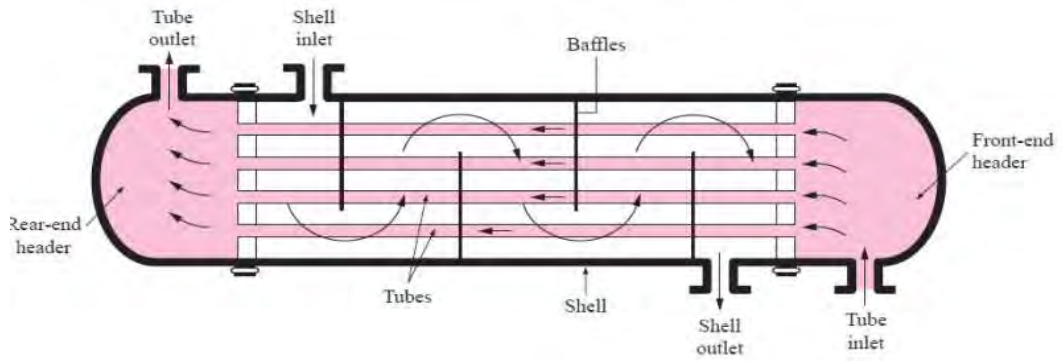


Figure 3.5 Shell and tube heat exchanger [16]

- Plate - Figure 3.6.

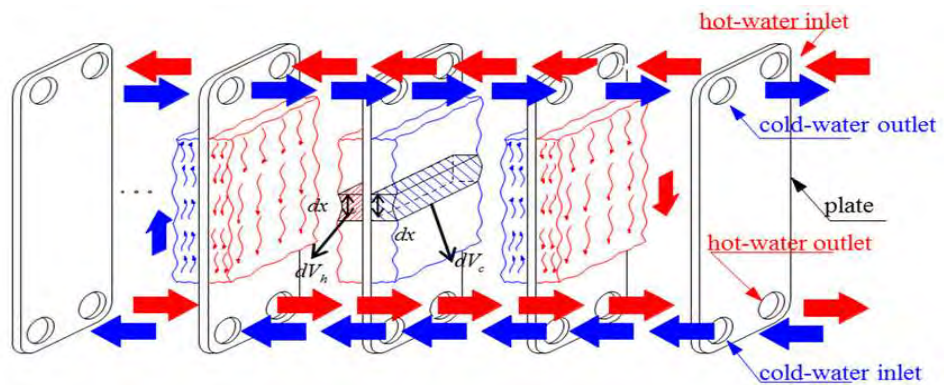


Figure 3.6 Plate heat exchanger [11]

- Plate-fin - Figure 3.7.

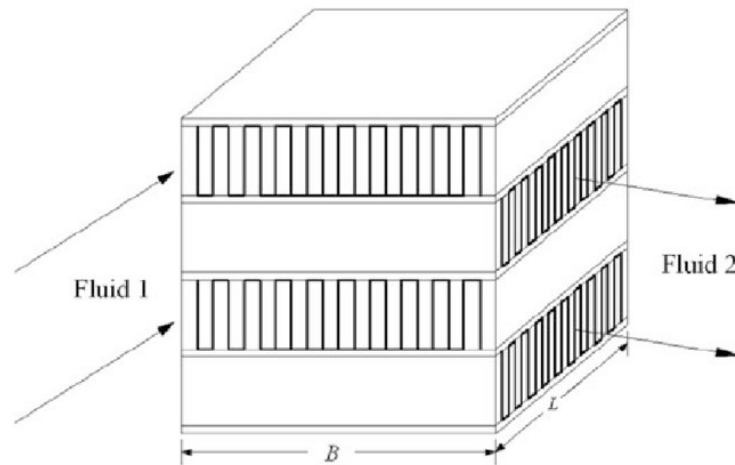


Figure 3.7 Plate-fin heat exchanger [11]

- Flat finned tube - Figure 3.8.

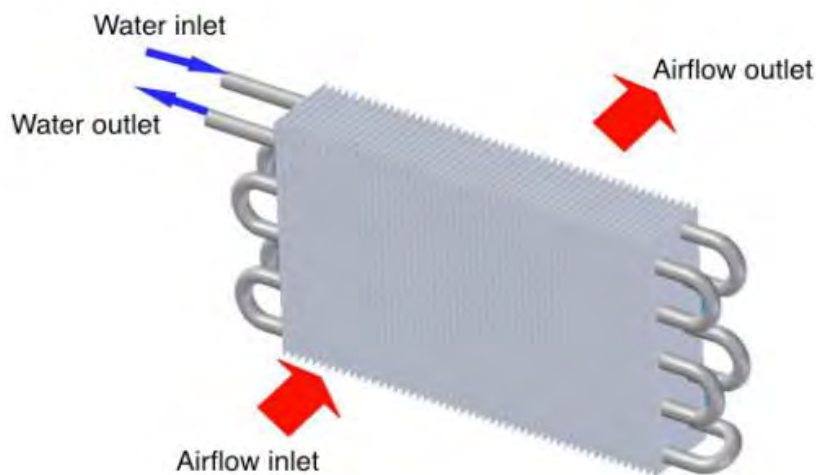


Figure 3.8 Flat finned tube heat exchanger [11]

3.3. Auxiliary heat source

Solar space heating systems are much more complex than systems that provide only domestic hot water. They must be equipped with auxiliary heat sources (Figure 3.9), which can be solid fuel boilers (wood, coal, pellets), liquid, gaseous or electric.

Solar installations are often combined with heat pumps - Figure 3.10.

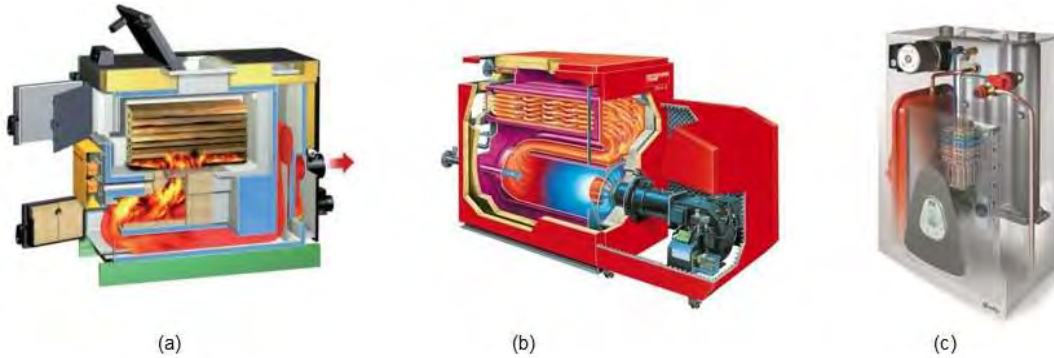


Figure 3.9 (a) solid fuel boiler; (b) liquid / gaseous fuel boiler; (c) electric boiler. [11]

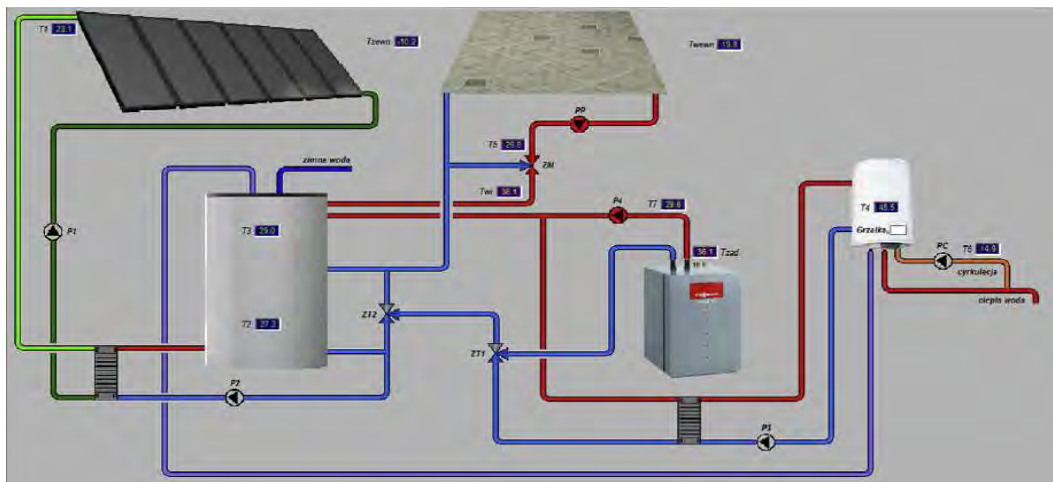


Figure 3.10 Solar heating system with a heat pump. [11]

3.4. Accumulating tang

A typical system using a hot water storage tank is shown in Figure 3.11.

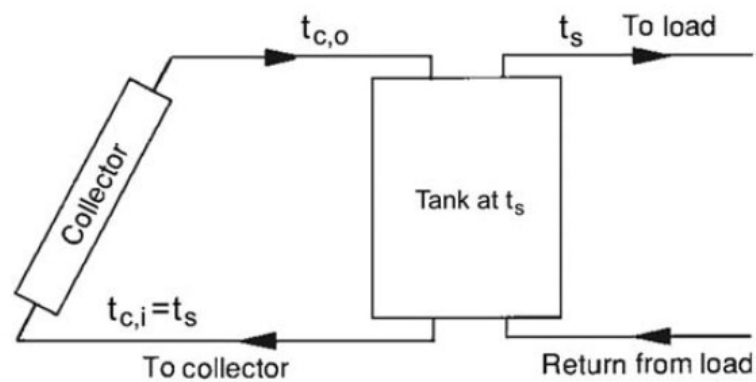


Figure 3.11 Solar system using a hot water storage tank [17]

3.5. Innovative design and selection of storage tank with phase-changing material

Phase-change materials (PCM) used for heat storage are chemicals that go through a transition from solid to liquid at temperatures in the desired range for heating and cooling. During the transition process, the material absorbs energy when it changes from a solid to a liquid state and releases energy as it returns from a liquid to a solid state. The water storage tank is made of steel, and in its total volume there are closed cylindrical tubular containers filled with PCM (paraffin) (Fig. 3.12).

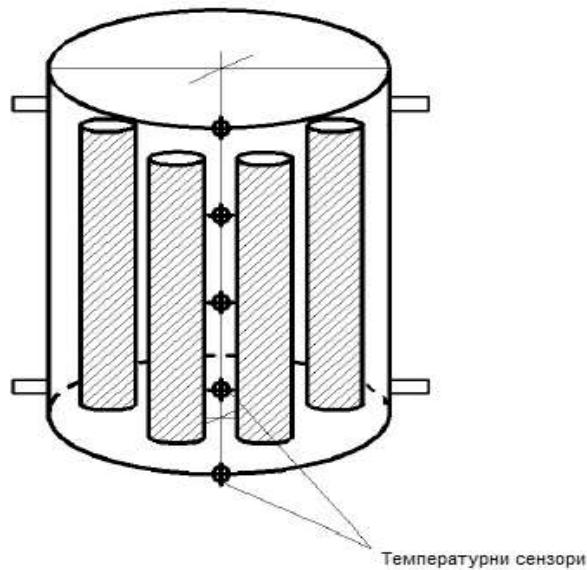


Figure 3.12 Phase-change material storage tank construction

3.6. Building heating system

The first step is usually the choice of heat generator and energy source - solid fuel, gas, oil, electricity; if necessary, both heating and cooling.

There are several options:

- *Boiler heating system*
- *Heat pump system*
- *renewable energy sources usage opportunities*

3.7. Controller

Automated control of building heating systems is implemented centrally, with network platforms or decentralized - through local controllers, thermostats and other modules.

3.8. Innovative heat storage and building heat supply combined system.

The innovative heat storage system, including PCM, is used to store excess energy as latent heat (Figure 3.13).

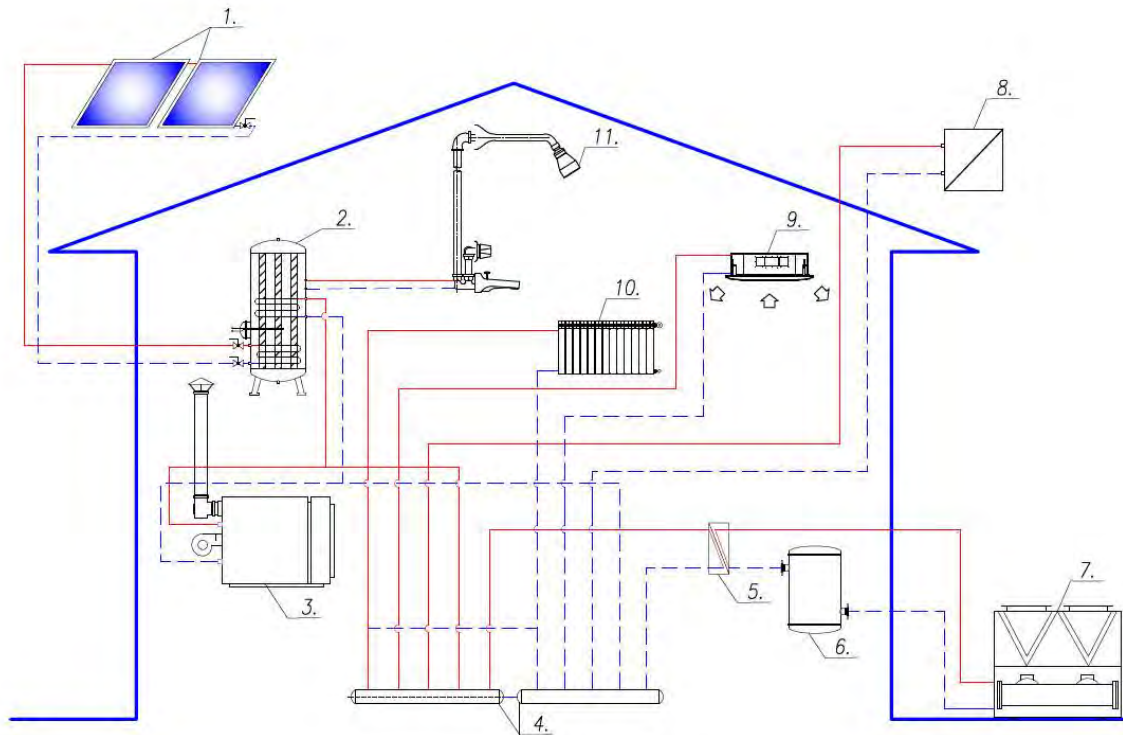


Figure 3.13 Space heating system using PCM storage tank

The system components are:

1. Solar collectors for domestic hot water (DHW);
2. Hot water storage tank with PCM;
3. Pellet boiler;
4. Water distributors;
5. Plate heat exchanger;
6. Buffer storage tank;
7. Air to water heat pump;
8. Heat exchanger (ventilation system);
9. Fan coil unit (cassette type);
10. Aluminium heater;
11. Water supply system.

Chapter IV. Experimental results and simulations.

4.1. Project description and heating system scheme

The considered building is a newly built restaurant, which has the following spaces: a visitors hall, a kitchen with ancillary rooms, an office, warehouses and bathrooms.

A pellet hot water boiler with a fuel hopper and an air-to-water heat pump air conditioning unit is provided for heating. The accumulating tank supply, the heating sections, the air curtain, the floor heating and the other heating units is through separate standpipes, equipped with electronic water supply pumps (Figure 4.1).

To supply the building with hot water, a stainless steel accumulation tank with two coils and a volume of 500 liters is provided. During the heating season the water will be heated by circulation from the boiler, and in the summer it will be heated by means of four flat solar collectors, which will be mounted on the roof at an angle of 45° in a southerly direction. The connection between the accumulation tank and the collectors is implemented with insulated copper pipes, and the circulation is realized with a microprocessor controlled pump group. A closed expansion vessel is provided to absorb the water expansions in the solar system. The accumulation tank also has an additional electric heater with a capacity of 7.5 kW.

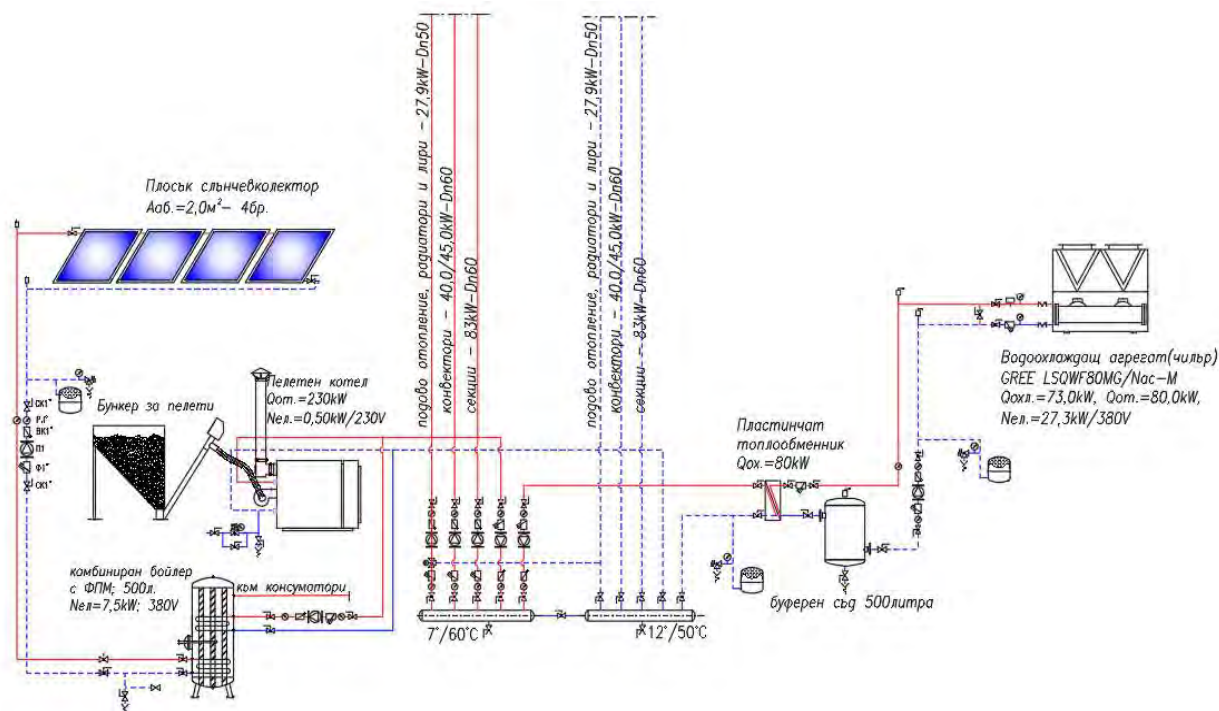


Figure 4.1 Combi-heating system detailed scheme

The solar panels characteristics installed in the system are listed in Table 4.1

Tilt angle	45°
Collector area	46p. X 2m ² = 8m ²
Overall surface conductance, U _c	8,0 W/m ² .K
Heat transfer coefficient inside the tube for water, h _w	1500 W/m.K
Cover transmittance, τ	0,9
Solar absorption of the copper surface, α	0,9
The water inlet temperature, T _{fi}	65°C

Table 4.1 Solar panels characteristics

4.2. Calculating annual hot water energy demand.

The annual energy consumption of domestic hot water (DHW), including heat and circulation losses, can be calculated as follows:

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

The energy required to raise the water temperature neglecting any losses is found by:

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

where:

m (kg) – mass of water to be heated

C_p (kJ/kg.°K) – specific heat capacity of water

ΔT (°K) – required temperature rise

Losses can be calculated taking into account the static losses of the storage tank and the pipeline coefficient of circulation losses:

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

where:

Q_{SHL} (kWh/day) – standby heat losses

Q_{circ} (kWh/day) – circulation heat losses

Q_{circ} = κ · Q_{DHW}, κ(%) – assumed loss factor

The annual hot water energy demand can be expressed as follows:

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

Therefore, for the considered storage tank with volume $V = 500$ l, static losses 2.5 kWh / day (energy efficiency class B) and circulation losses 20%, the required energy for DHW will be:

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

$$\begin{aligned} Q_{demand} &= [(1 + k) \cdot Q_{DHW} + Q_{SHW}] \cdot 365 = \\ &= [(1 + 0,2) \cdot 29,02 + 2,5] \cdot 365 = 13623 kWh/year \end{aligned}$$

The amount of heat stored in water is expressed by the equation:

$$Q_{H2O} = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q_{H2O} = 0,5 \cdot 1000 \cdot 4,18 \cdot 50 = 104500 kJ$$

4.3. Calculating solar panels area.

Having calculated the annual energy demand, the collector area should be determined to cover part of the required energy.

On an annual basis, this energy is calculated as follows:

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

where:

S_{in} – design solar fraction, typically 30% - 60% (This is an expression of how much of the total energy consumption is supplied by solar thermal).

With a solar fraction of 50%, the following is obtained:

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

The annual solar yield obtained from the solar array is:

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

where:

Q'_{solar} – specific annual solar yield adjusted for location, tilt, orientation and shading (for the Sofia region $Q'_{solar} = 1200 \text{ W/m}^2\text{year}$).

A_{apmin} – minimum aperture area of solar collector array (m^2).

Rearranging the above equation gives the required aperture area to meet the solar contribution of the annual energy demand is:

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

For the considered conditions it is obtained:

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

For the system are provided $n = 4$ pcs. solar panels with aperture area $A_{apcoll} = 2.0 \text{ m}^2$ each. The total aperture area will be:

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

The annual solar yield obtained from the solar array will be:

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

4.4. Balancing the array and calculating the system flow rate

The arrangement of the solar panels has a direct impact on the flow rate of the system and therefore on the choice of piping and circulation pump.

In practice we need to keep the array layout simple whilst still minimising the pressure drop across the collector field. We have the added consideration that banking too many collectors together will have an effect on efficiency, particularly on the last few collectors in each series as they start to operate at a hotter temperature and their performance is affected.

To achieve a good hydraulic balance, it must be taken into account that no series of collectors should be larger than 10 m^2 . Ideally, the goal is for an even number of collectors and a balanced pipeline. On larger systems the goal is for a total number of collectors that can be divided by 3 or 4 to obtain a suitable array.

When sizing the pipeline, we aiming to achieve the following:

- Minimise pressure drop and therefore reduce the pump size and energy consumption
- Maintain pipe velocity between 0.4 – 1.0 m/s
- Ensure that the pipe will fit in the available space
- A choice of pipework and fittings are cost effective both in terms of materials and labour

4.5. Sizing the pcm storage tank volume

Latent heat storage technology reduces temperature fluctuations and offers a higher heat storage capacity per volume/mass. The temperature and the amount of energy stored can be adjusted by selecting a specific phase changing material. Stored heat is transferred by a heat transfer fluid such as water or air in a heat exchanger. When the heat transfer fluid temperature T_f is lower than the melting temperature ($T_f < T_m$), the phase changing material solidifies and releases its heat of melting to the heat transfer fluid. Respectively, when the temperature of heat transfer fluid is higher than the melting temperature ($T_f > T_m$), phase changing material starts melting and stores heat.

The selected phase-change material is paraffin with a mass of 50 kg. The total heat stored by the solid-liquid phase-changing material between the initial and final temperature is determined:

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

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

The water volume that can compensate the total heat stored in the paraffin is calculated according to:

$$V_{H2O(PCM)} = \frac{E}{C_p \cdot \Delta T},$$

where:

$V_{H2O(PCM)}$ – the water volume heated by PCM (l);

$C_p = 4184 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ – water specific heat capacity;

ΔT - PCM temperature difference (22°C);

E – The energy stored in PCM (J).

Therefore:

$$V_{H2O(PCM)} = \frac{12738800}{4184.22} = 3044,4 \text{ l} = 3,044 \text{ m}^3$$

The paraffin amount in m^3 will be:

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

where:

m_{PCM} – PCM mass (kg);

ρ_{PCM} – PCM density (kg/m^3).

In this case it obtains:

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

Due to the above, the volume of the storage tank (V_1) with PCM will be:

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

Increasing the mass of paraffin in the storage tank leads to an increase in the energy stored amount (Figure 4.2).



Figure 4.2 Amount of heat stored in paraffin depending on the mass

Conclusion:

Encapsulating phase change materials can maintain the outlet water temperature, especially when the inlet water temperature is reduced at night time. In addition, it is particularly important to insulate the PCM tank well, as insulation increases the productivity of the material. There are also some inconveniences that result from the PCM characteristics. Due to the low thermal conductivity of the material, charging and discharging the tank takes time. The low heat transfer rate between the heat transfer fluid and PCM leads to less efficient thermal systems. Therefore, it is appropriate to use encapsulated FPM to increase the heat transfer area between the material and the heat transfer fluid. Encapsulating the PCM in a sphere shape around the heat exchanger shows cycle stability and better performance for a hot water storage tank.

References:

- [1] European Smart Cities. (n.d.). Available at http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf. Last accessed Jan 2020
- [2] Hristova V., Haralampieva M.. Проучване и оценка на съществуващи и иновативни технологии за съхранение на енергия. XXVIII Международна научно-техническа конференция – АДП 2019, ISSN:1310 -3946, 321-326
- [3] DOE/EIA (2010) International energy outlook. Report #:DOE/EIA-0484. <http://www.eia.gov/oiaf/ieo/highlights.html>. Last accessed Feb 2021
- [4] Capehart BL (2007) Encyclopedia of energy engineering and technology. CRC Press, Boca Raton
- [5] Jacobson MZ (2009) Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security. *Energy Environ Sci* 2:148–173
- [6] Smith JM, Van Ness HC, Abbott MM (2005) Introduction to chemical engineering thermodynamics, 7th edn. McGraw Hill, New York
- [7] Hassenzahl, W.V. (1981). Mechanical, Thermal, and Chemical Storage of Energy, Hutchinson Ros. Publ. Co., Stroudsburg, Pennsylvania.
- [8] G. Newsom, Flywheel systems for utility scale energy storage (2019), <https://ww2.energy.ca.gov/2019publications/CEC-500-2019-012/CEC-500-2019-012.pdf>. Last accessed Oct 2020
- [9] Hassenzahl, W.V. (1981). Mechanical, Thermal, and Chemical Storage of Energy, Hutchinson Ros. Publ. Co., Stroudsburg, Pennsylvania.
- [10] Cristopia (2000). Thermal Energy Storage Technical Manual, Cristopia Energy Systems, Venice.
- [11] Dincer I., Rosen M. A. (2010) Thermal Energy Storage: Systems and Applications, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Ltd, UK
- [12] Kato, Y., 2001. Heat Storage Technologies, Vol. 2, Latent and Chemical Heat Storages, edited by N. Hasatani and A. Kanzawa (Shinzan-sya, Tokyo, 2001), pp. 135–153 (in Japanese).
- [13] A. Crespo, C. Barreneche, M. Ibarra, W. Platzer, Latent thermal energy storage for solar 3 process heat applications at medium-high temperatures – A review, *Sol. Energy.* (2018). 4 doi:10.1016/j.solener.2018.06.101.
- [14] T. Jatau, T. Bello-ochende. Constructal design of flat plate solar collector, *Proceedings of the Romanian Academy*, volume special issue, pp. 160–165, (2018).
- [15] S. S. Kumar, K. M. Kumar, and S. R. S. Kumar, “Design of Evacuated Tube Solar 543 Collector with Heat Pipe,” *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 14, pp. 12641–12646, Jan. 544 2017.
- [16] Yu, C.; Ren, Z.; and Zeng, M. (2018). Numerical investigation of shell-side performance for shell and tube heat exchangers with two different clamping type anti-vibration baffles. *Applied Thermal Engineering*, 133, 125-136.

- [17] Papadopoulos, A.M. Renewable energies and storage in small insular systems: Potential, perspectives and a case study. *Renew. Energy* 2020, 149, 103–114

CONTRIBUTIONS:

The thesis contributions are mainly with scientific application and they are as follow:

1. After a detailed review, a critical analysis and systematization of types of energy sources was made.
2. Existing methods of energy storage are discussed in order to choose a method of heat storage.
3. Innovative examples of heat storage are researched and an innovative approach to heat storage based on phase change materials is proposed.
4. An innovative combined heat storage system and heat supply in a building has been developed.
5. Experimental calculations and technical and economic analysis are made with the proposed methods and developed systems.
6. Innovative solutions for energy efficiency and multifunctional intelligent information and communication technologies have been applied in the experimental development.
7. The results were tested in the "MARTMAX" Ltd. company.

Publications in accordance with the thesis topic:

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



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

АВТОРЕФЕРАТ НА ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователна и научна степен “доктор” по научна специалност “Автоматизирани системи за обработка на информация и управление“

ИНТЕЛИГЕНТНО УПРАВЛЕНИЕ НА ИЗТОЧНИЦИ НА ТОПЛИННА ЕНЕРГИЯ

Милена Бисерова Харалампиева

Ръководител: Проф. Димитър Карастоянов

Научно жури:

Проф. Тодор Нешков
Проф. Румен Трифонов
Проф. Иво Малаков
Проф. Тодор Стоилов
Доц. Найден Шиваров



**Институт по информационни и
комуникационни технологии**

**Секция „Разпределени информационни и
управляващи системи“**

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 [1].

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 [2].

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:

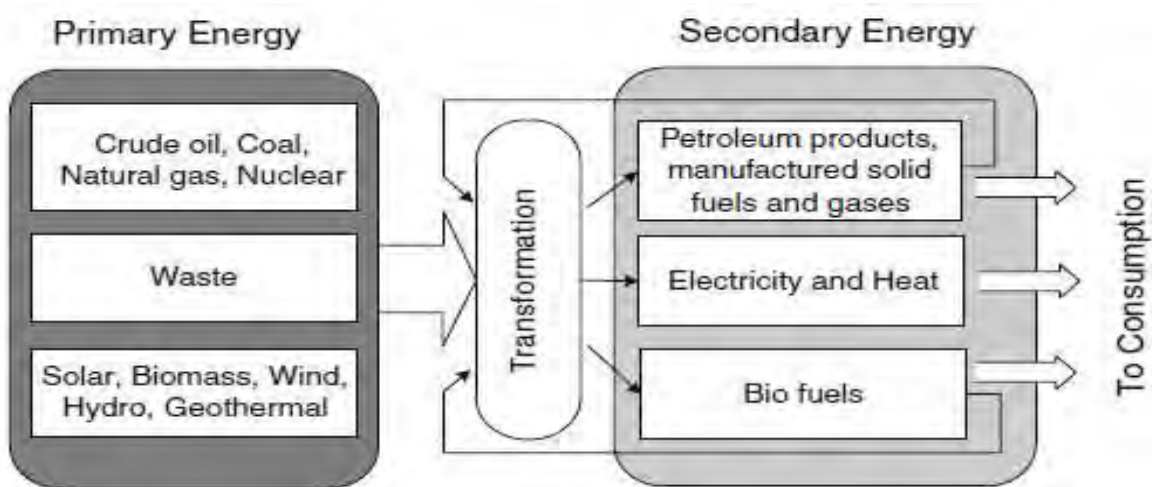
- Ползи за околната среда
- Икономически ползи

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 [3]

1.4. Невъзобновяеми енергийни източници

Общоприето е, че невъзобновяемите 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 невъзобновяеми 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 [4].

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 хранене 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

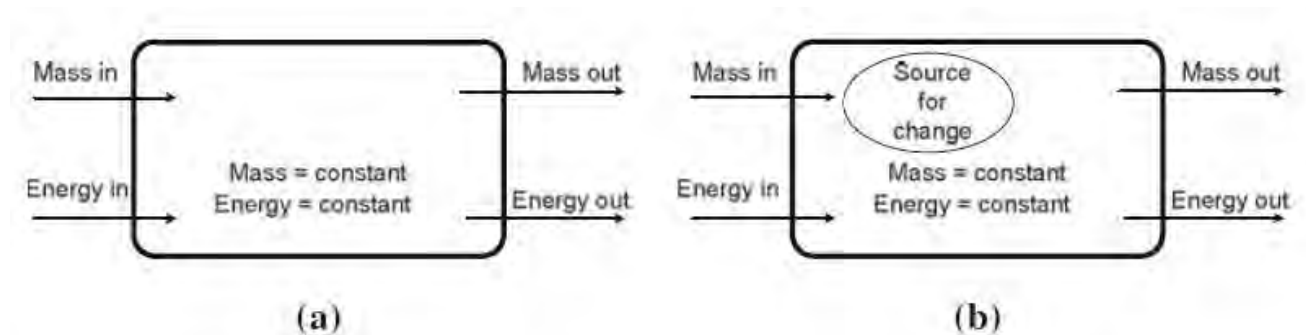
от това количество, така че има нетно увеличение от 10,65 милиарда тона атмосферен въглероден диоксид годишно.

Един тон въглерод е еквивалентен на: $MW_{CO_2} / MW_C = 44/12 = 3,7$ тона въглероден диоксид [5].

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 [6].

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. Да се направи детайлен Обзор, анализ и систематизация на видовете енергийни източници и да се направи преглед на съществуващи методи и средства за изследване и управление на източници за съхранение на енергия.

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

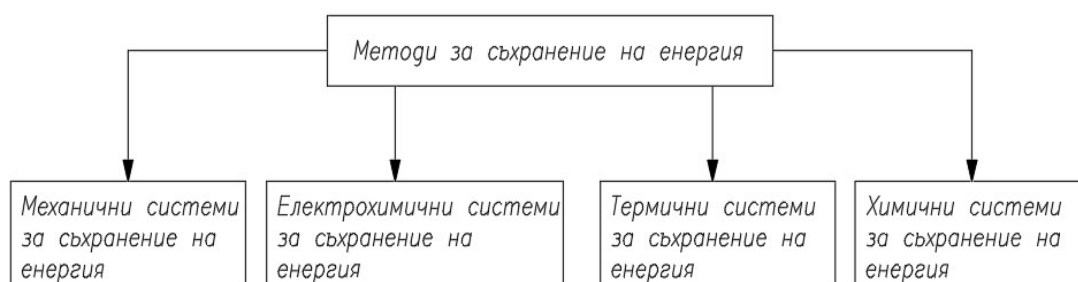
При системите за съхранение на топлинна енергия тя се акумулира, когато производството ѝ надвишава консумацията, и се осигурява достъп до нея при необходимост от страна на потребителите. Тези системи спомагат за постигането на съответствие между доставката и потреблението на енергия, за използването 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.

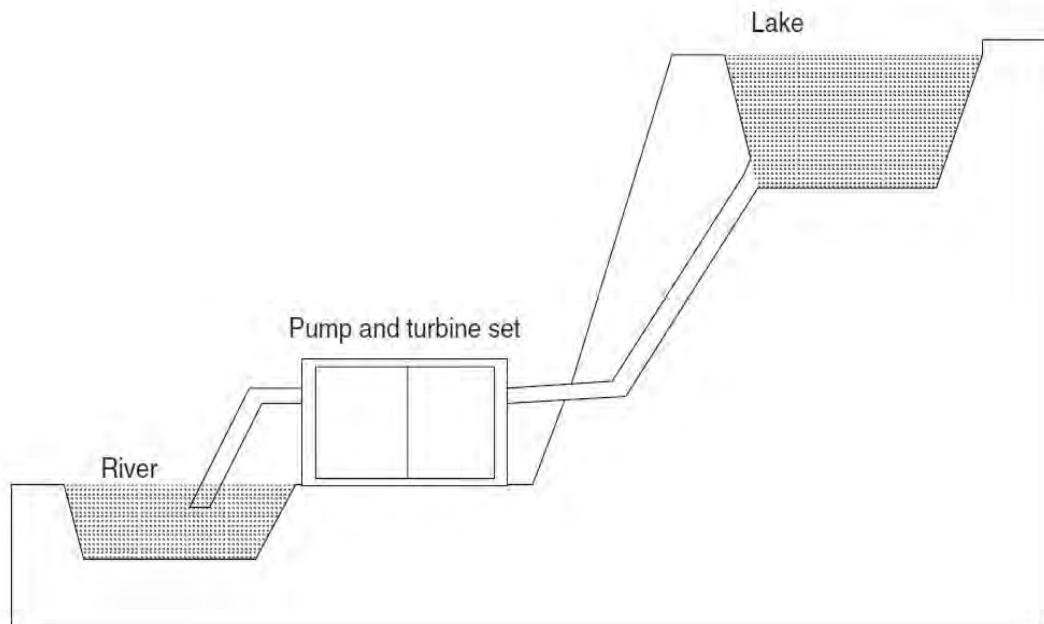
Методите за съхранение на енергия могат да се систематизират в няколко групи (фиг.2.1).



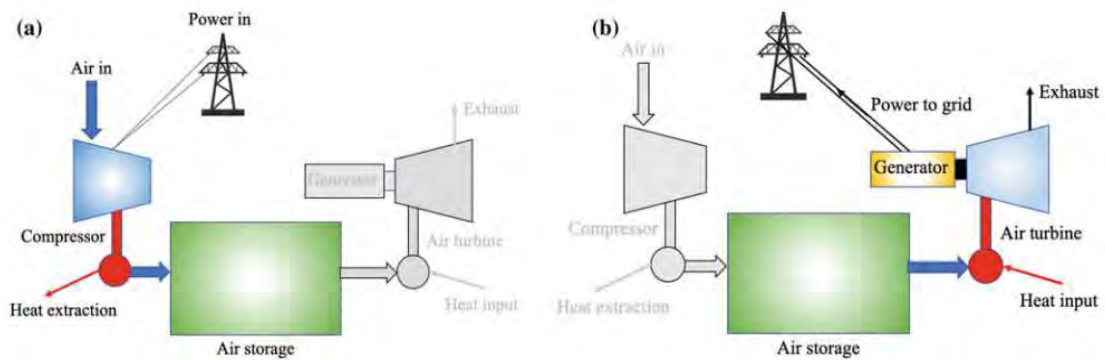
Фигура 2.1 Класификация на методите за съхранение на енергия

2.1.1. Механични системи за съхранение на енергия

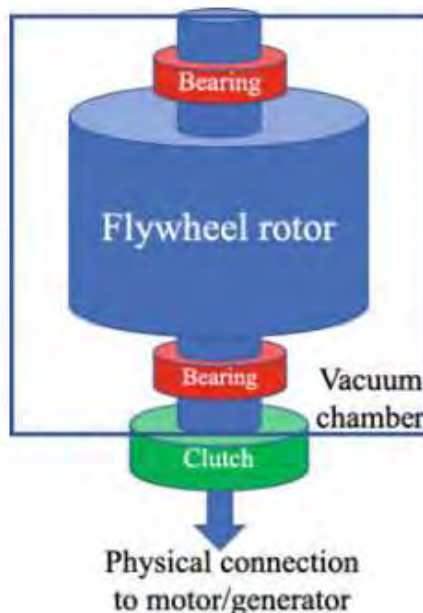
Механичната енергия може да се съхранява като кинетична енергия на линейно или въртливо движение, като потенциална енергия в издигнат обект, като енергия на компресия или деформация на еластичен материал или като енергия на компресия в газ. Трудно е да се съхраняват големи количества енергия в линейно 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 [7]



Фигура 2.3 (a) Работа на система с въздушна компресия в режим на зареждане; (b) режим на разреждане [7]

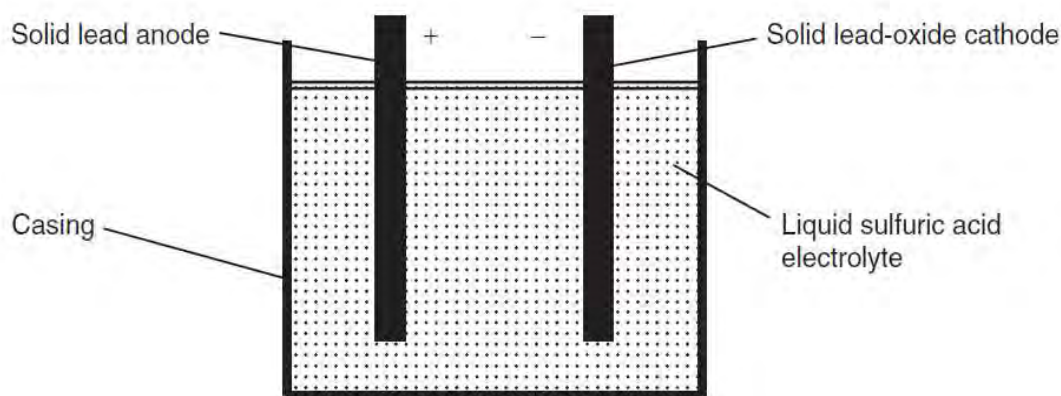


Фигура 2.4. Илюстрация на основните компоненти на система за съхранение на енергия чрез маховик [8]

2.1.2. Електрохимични системи за съхранение на енергия

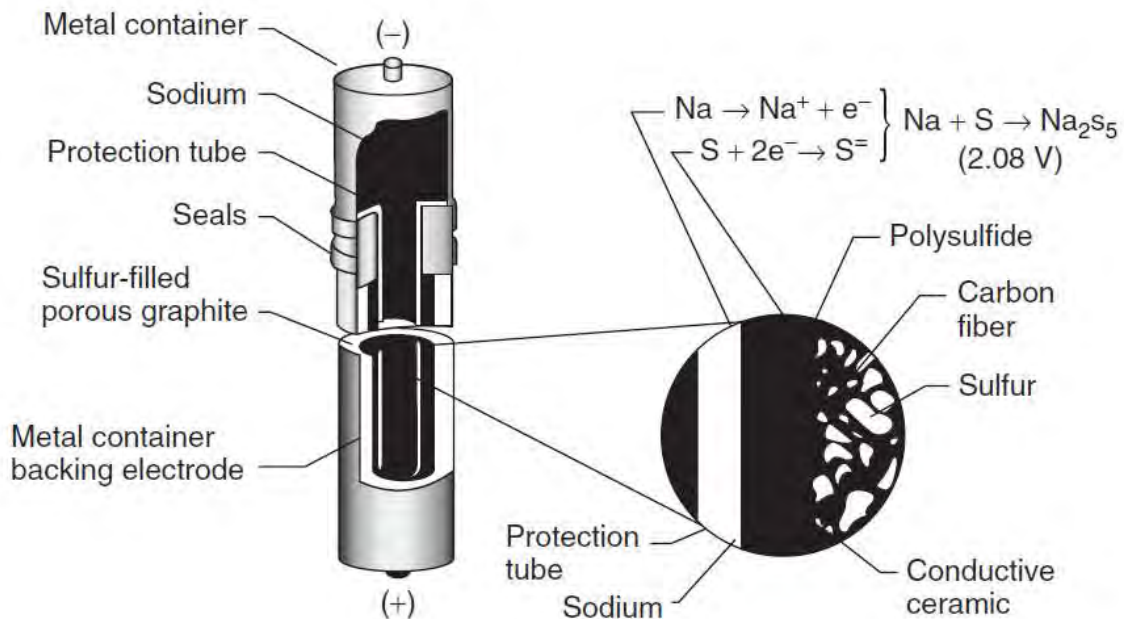
Енергията може да се съхранява в системи, съставени от едно или повече химични съединения, които отделят или абсорбират енергия, когато взаимодействат, за да образуват други съединения. Най-познатата химична система за съхранение на енергия е батерията.

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 [9]

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



Фигура 2.6 Високотемпературна натриево-сярна батерия [9]

2.1.3. Термични системи за съхранение на енергия

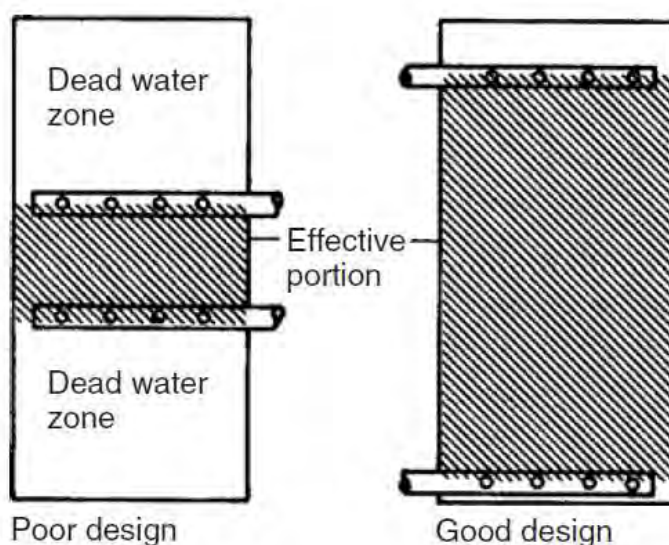
Системите за съхранение на топлинна енергия могат да съхраняват топлина или студ, за да се използват по-късно при различни условия като температура, място или мощност. Тези системи се разделят на три вида: системи за съхранение на Осезаема топлина (топлина на усещане), системи за съхранение латентна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

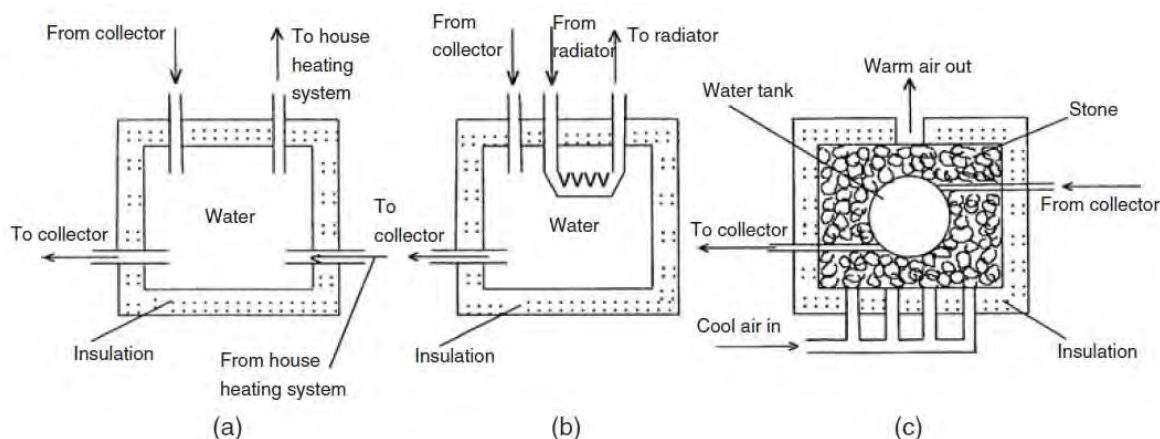
Други често използвани материали при системи за съхранение на осезаема енергия са скалите и водата. Скалата е евтин материал от гледна точка на разходите, но обемният му топлинен капацитет е много по-малък от този на водата. Предимството на скалата пред водата е, че може лесно да се прилага при такива 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.

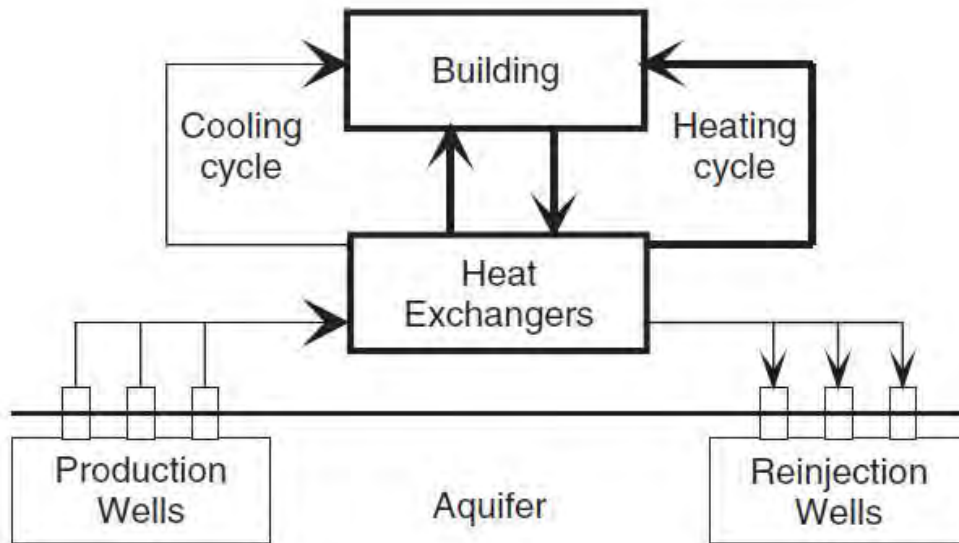
Слънчевите водоеми се различават по няколко признака от естествените. Слънчевите езера са пълни с чиста вода, за да осигурят максимално проникване на слънчева светлина. Дъното е затъмнено, за да поеме повече слънчева радиация. Добавя се сол, за да направи водата по-плътна на дъното и да потисне естествената 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.



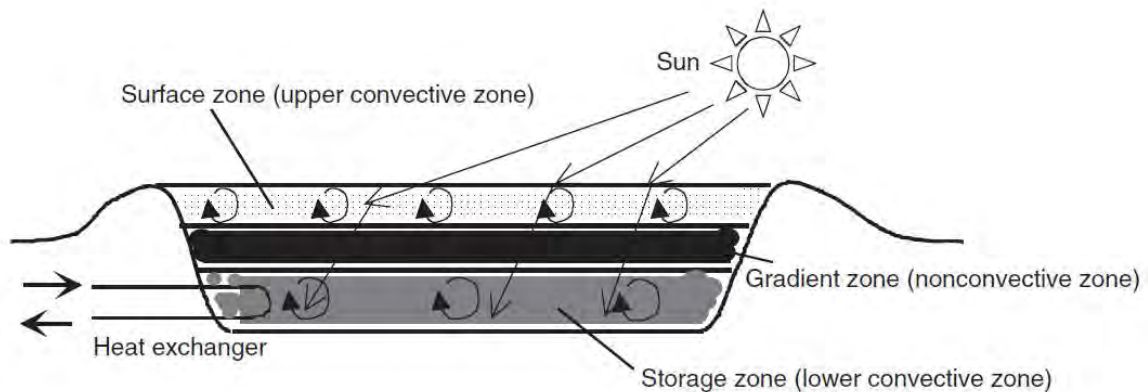
Фигура 2.7 Положение на входа и изхода на термично стратифициран резервоар [10]



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 [10]



Фигура 2.9 Схема на работа на термална система за съхранение на енергия с подземен слой водоносна пропусклива скала [10]



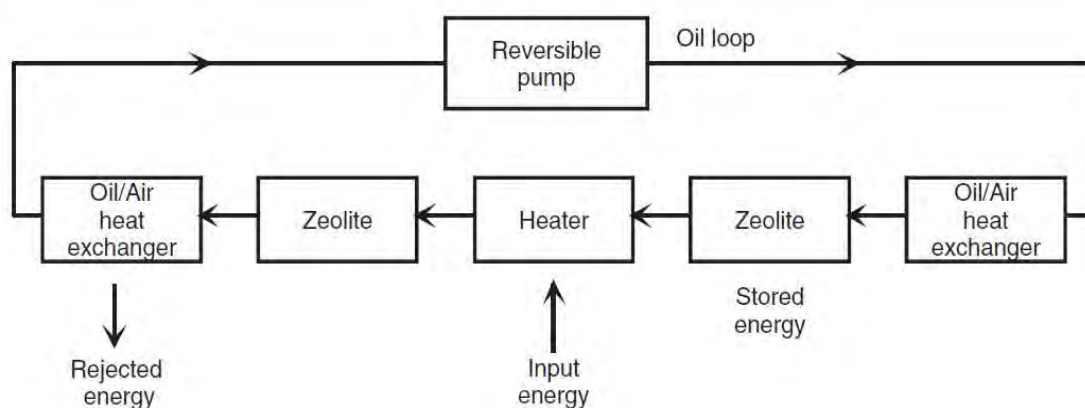
Фигура 2.13 Напречно сечение на соларно езеро с градиент на соленост [10]

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

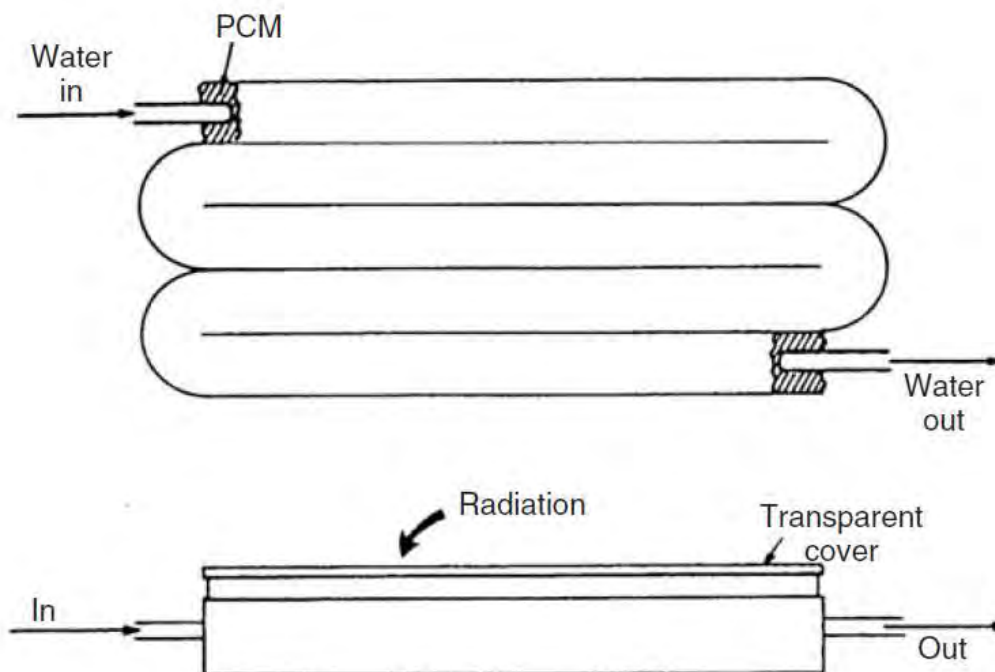
Познаването на характеристиките на топене и замръзване на фазово променящите се материали, способността им да се подлагат на термичен цикъл и тяхната съвместимост със строителни материали е от съществено значение за оценка на краткосрочните и дългосрочните характеристики на латентните системи за съхранение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

Над 20 000 съединения и смеси се считат за фазово променящи се материали, включително едноконпонентни 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).



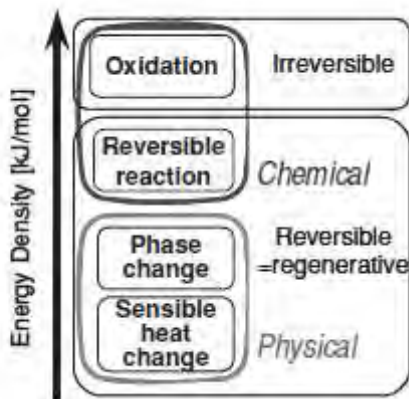
Фигура 2.11 Използване на зеолит като среда за съхранение на топлинна енергия [11]



Фигура 2.12 Соларна тръба за съхранение на топлинна енергия, използваща фазово променящ се материал [11]

2.1.4. Химични системи за съхранение на енергия

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

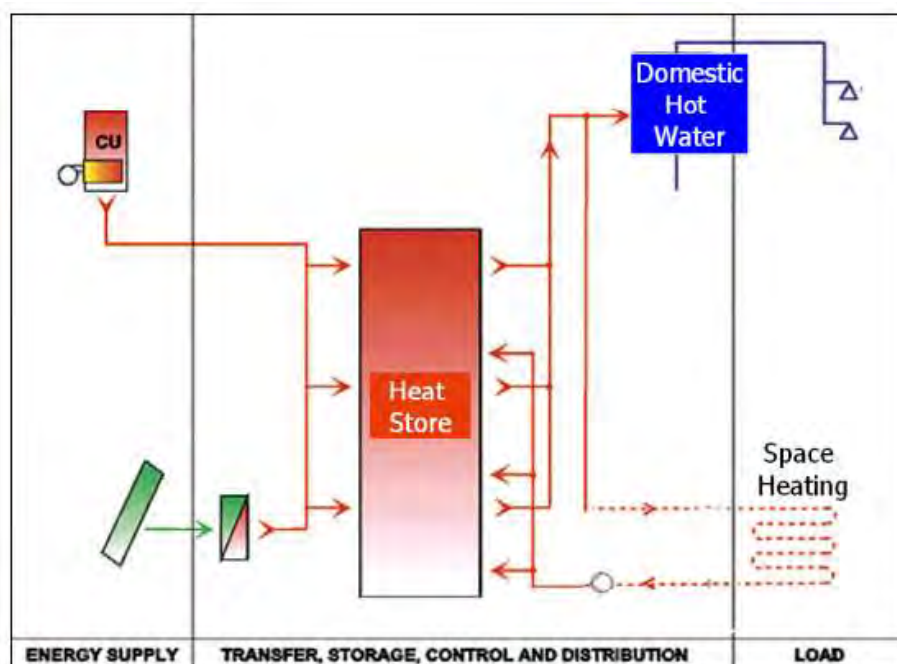


Фигура 2.13 Енергийна плътност на физични и химични промени [12]

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 [13]

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 [14]

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.

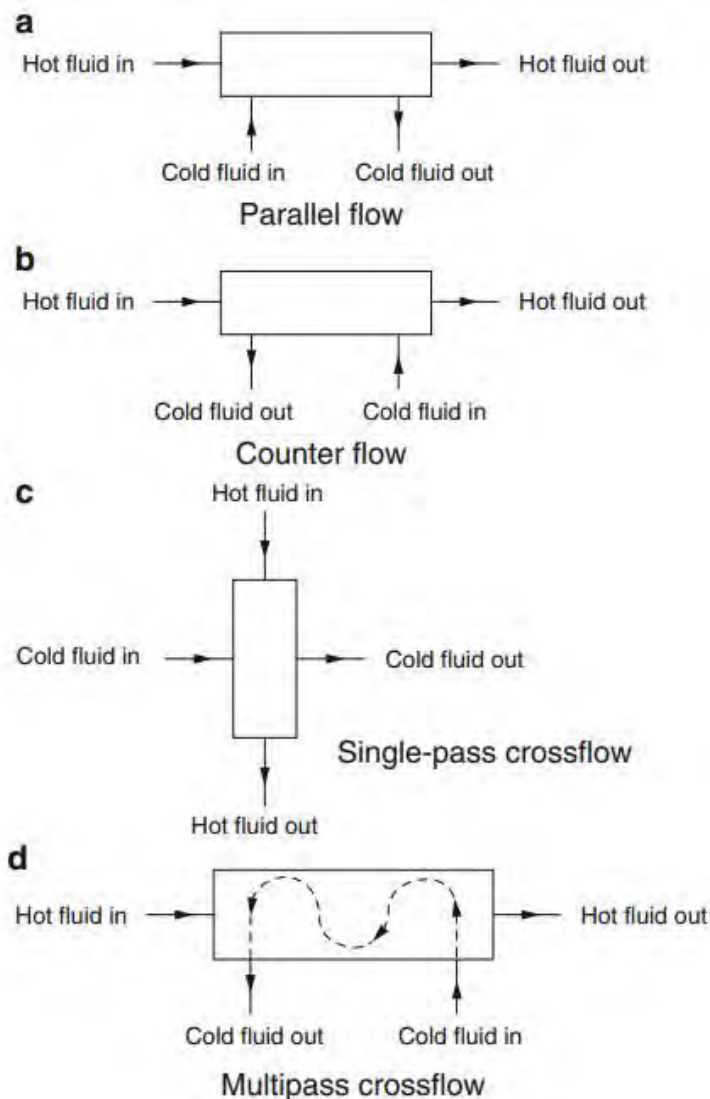


Фигура 3.3 Тръба с двойно стъкло (тръба на Дюар) [15]

3.2. Теплообменник

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

Четири най-често срещани типа теплообменници, 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 [16]

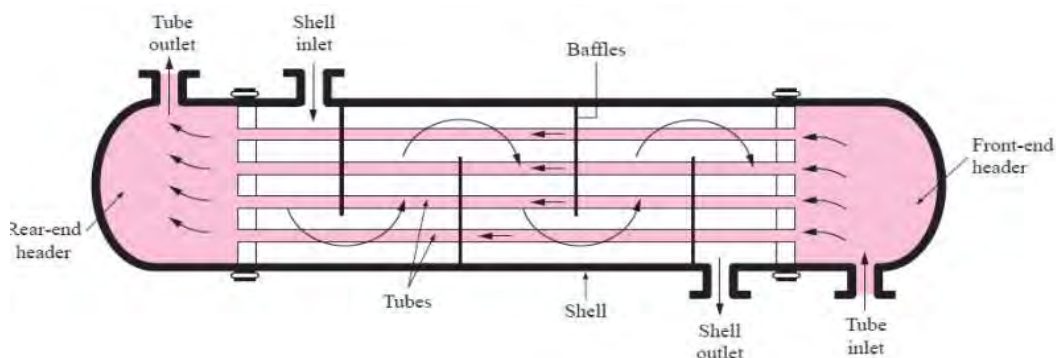
- В едновременни или паралелни потоци, при които в една и съща точка се свързват горещите и студените течности, текат в същата посока и излизат в същия край.
- При противоток или противопоток в противоположните краища се свързват горещи и студени течности, текат в обратна посока и излизат в противоположните 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.

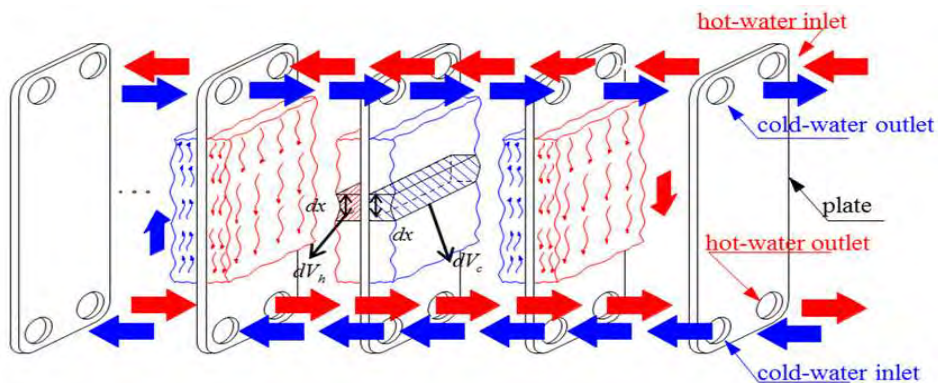
Според конструктивните характеристики топлообменниците могат да бъдат:

- Кожухотръбни - Фигура 3.5.



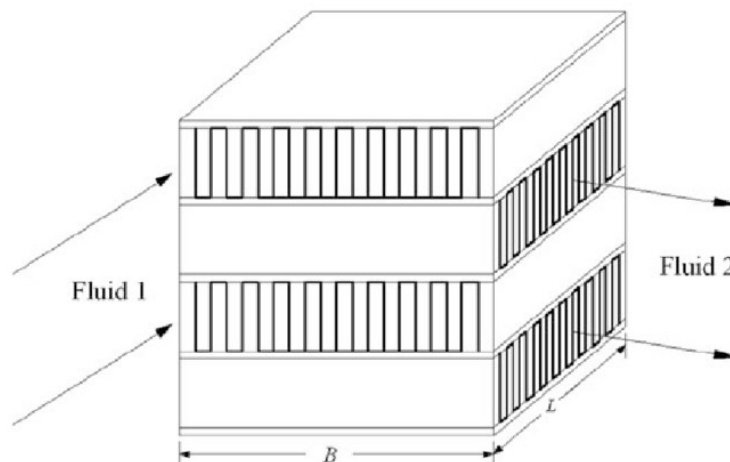
Фигура 3.5 Кожухотръбен топлообменник [16]

- Пластинчати - Фигура 3.6.



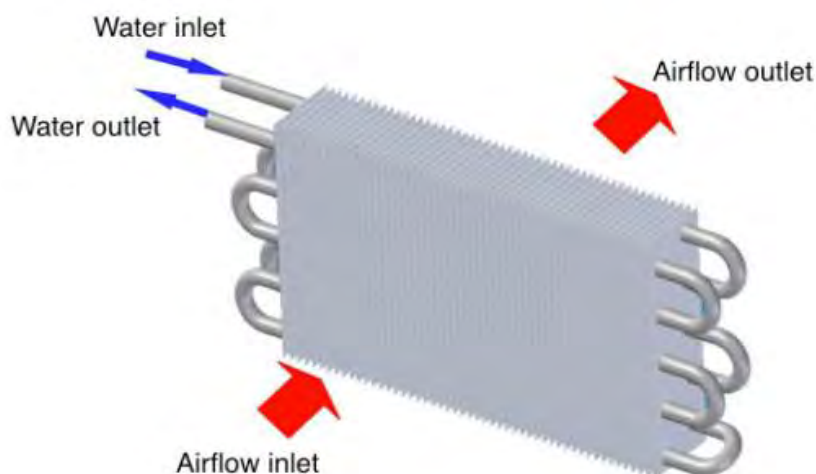
Фигура 3.6 Пластинчат топлообменник [11]

- Оребрени пластинчати - Фигура 3.7.



Фигура 3.7 Оребрен пластинчат топлообменник [11]

- Оребрени тръбни - Фигура 3.8.

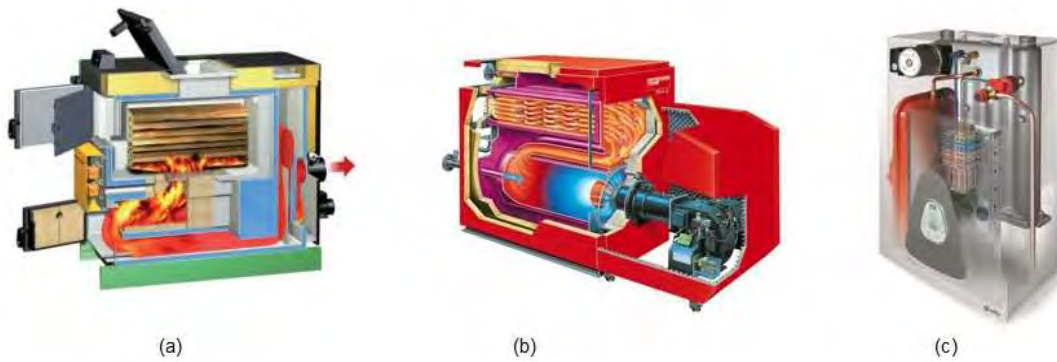


Фигура 3.8 Оребрен тръбен топлообменник [11]

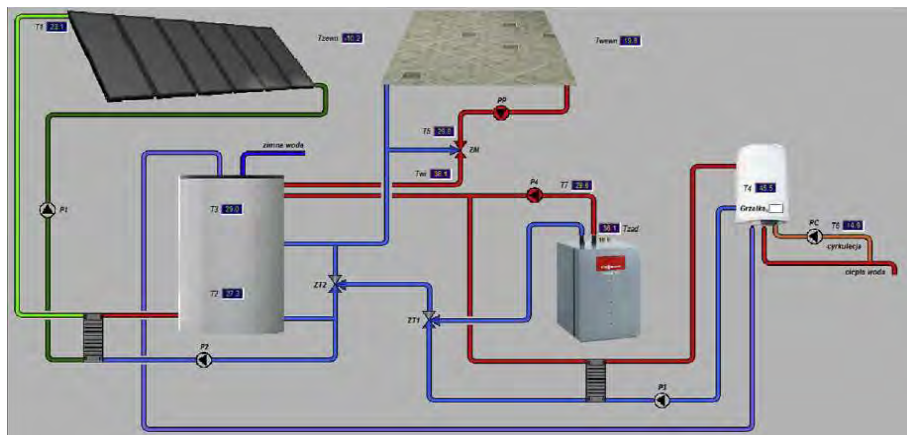
3.3. Спомагателен източник на топлина

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.



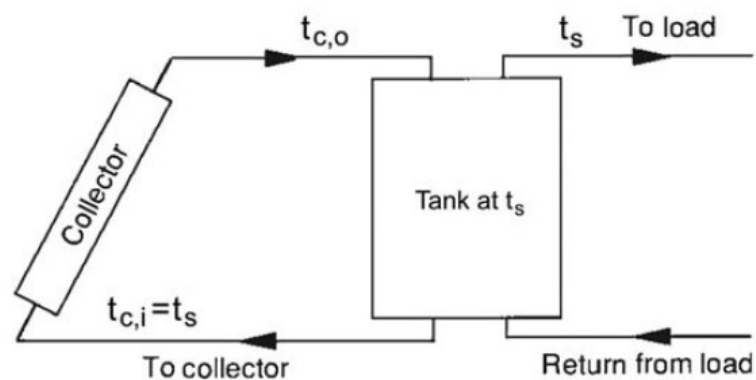
Фигура 3.9 (a) котел на твърдо гориво; (b) котел на течно/газообразно гориво; (c) електрически котел. [11]



Фигура 3.10 Визуализация на соларна отоплителна инсталация с термомерна. [11]

3.4. Акумулиращ съд/Бойлер

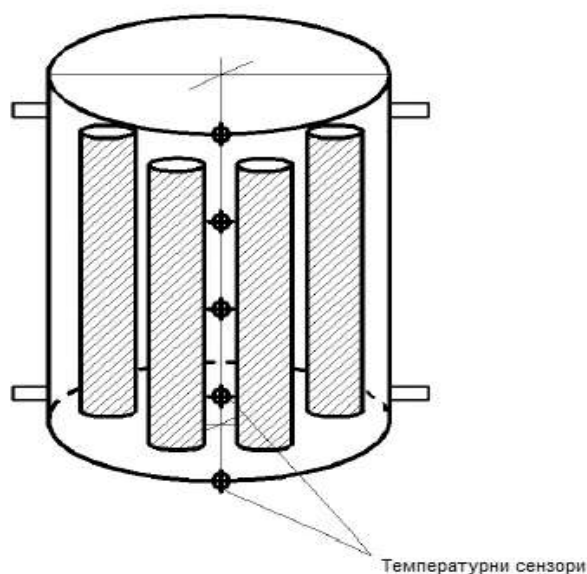
Типична система, при която се използва резервоар за съхранение на гореща вода, е показана на Фигура 3.11.



Фигура 3.11 Соларна система, използваща резервоар за съхранение на гореща вода [17]

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 желаня 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:

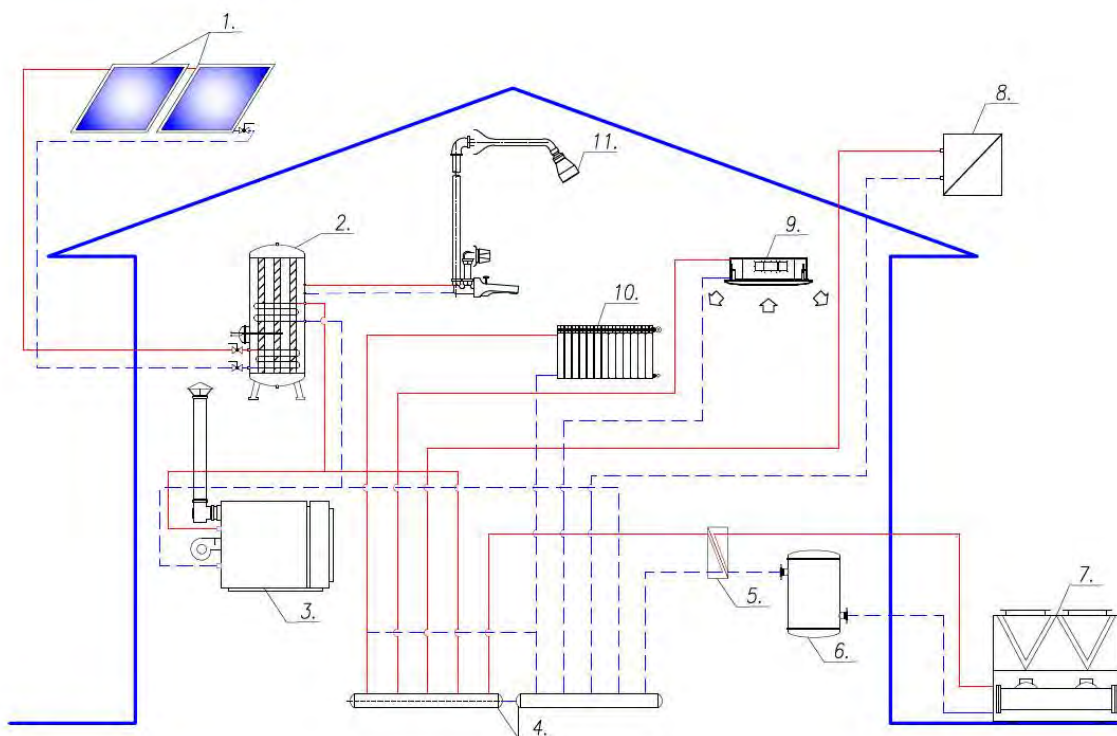
- Отоплителна инсталация с котел
- Инсталация с термопомпа
- Възможности за използване на възобновяеми енергийни източници

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. Отопителен 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.

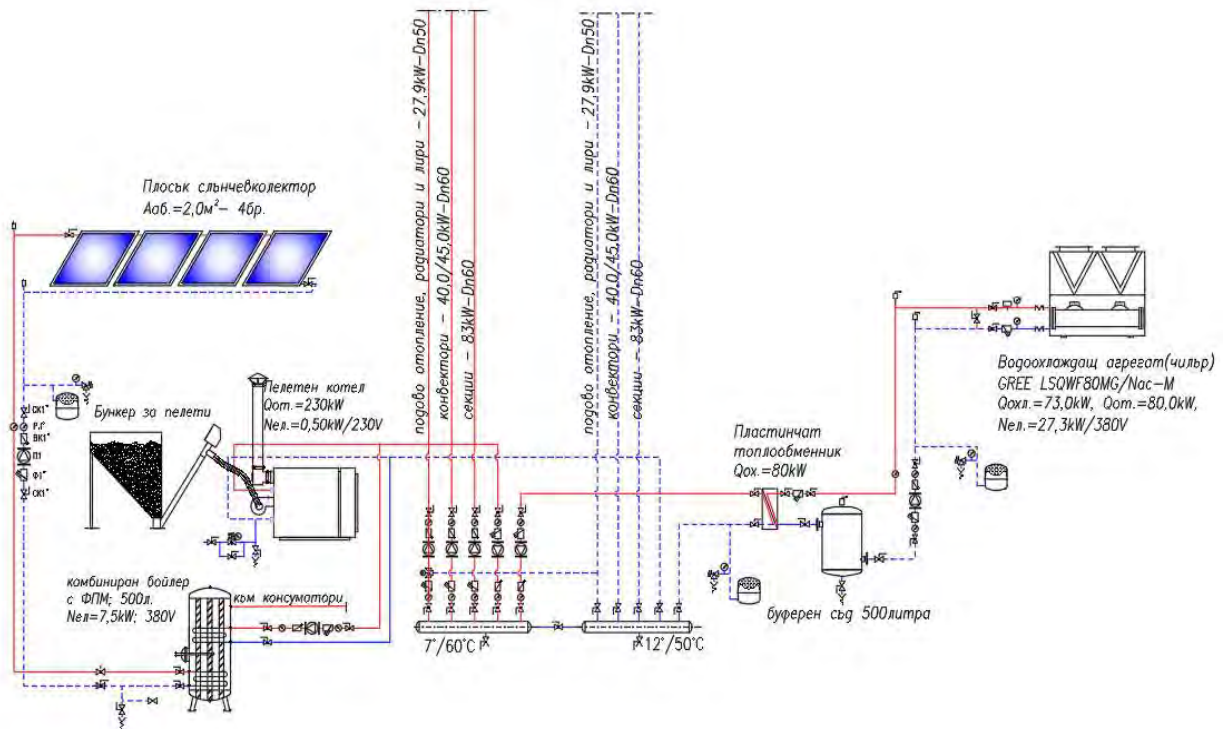
Глава IV. Експериментални резултати и симулации.

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 термopомпен 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 загрева чрез циркулация от котела, а през лятото ще се загрева 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:

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

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

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

където:

m (kg) – количеството загорята 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:

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

където:

Q_{SHL} (kWh/day) – статични загуби

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

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

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

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

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:

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

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

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

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_{fn} – 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:

$$V_{H_2O(PCM)} = \frac{12738800}{4184.22} = 138,4 \text{ l} = 0,138 \text{ m}^3$$

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.

Библиография:

- [1] European Smart Cities. (n.d.). Available at http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf. Last accessed Jan 2020
- [2] Hristova V., Haralampieva M.. Проучване и оценка на съществуващи и иновативни технологии за съхранение на енергия. XXVIII Международна научно-техническа конференция – АДП 2019, ISSN:1310 -3946, 321-326
- [3] DOE/EIA (2010) International energy outlook. Report #:DOE/EIA-0484. <http://www.eia.gov/oiaf/ieo/highlights.html>. Last accessed Feb 2021
- [4] Capenhart BL (2007) Encyclopedia of energy engineering and technology. CRC Press, Boca Raton
- [5] Jacobson MZ (2009) Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security. Energy Environ Sci 2:148–173
- [6] Smith JM, Van Ness HC, Abbott MM (2005) Introduction to chemical engineering thermodynamics, 7th edn. McGraw Hill, New York
- [7] Hassenzahl, W.V. (1981). Mechanical, Thermal, and Chemical Storage of Energy, Hutchinson Ros. Publ. Co., Stroudsburg, Pennsylvania.
- [8] G. Newsom, Flywheel systems for utility scale energy storage (2019), <https://ww2.energy.ca.gov/2019publications/CEC-500-2019-012/CEC-500-2019-012.pdf>. Last accessed Oct 2020
- [9] Hassenzahl, W.V. (1981). Mechanical, Thermal, and Chemical Storage of Energy, Hutchinson Ros. Publ. Co., Stroudsburg, Pennsylvania.
- [10] Cristopia (2000). Thermal Energy Storage Technical Manual, Cristopia Energy Systems, Venice.
- [11] Dincer I., Rosen M. A. (2010) Thermal Energy Storage: Systems and Applications, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Ltd, UK
- [12] Kato, Y., 2001. Heat Storage Technologies, Vol. 2, Latent and Chemical Heat Storages, edited by N. Hasatani and A. Kanzawa (Shinzan-sya, Tokyo, 2001), pp. 135–153 (in Japanese).
- [13] A. Crespo, C. Barreneche, M. Ibarra, W. Platzer, Latent thermal energy storage for solar 3 process heat applications at medium-high temperatures – A review, Sol. Energy. (2018). 4 doi:10.1016/j.solener.2018.06.101.
- [14] T. Jatau, T. Bello-ochende. Constructal design of flat plate solar collector, Proceedings of the Romanian Academy, volume special issue, pp. 160–165, (2018).
- [15] S. S. Kumar, K. M. Kumar, and S. R. S. Kumar, “Design of Evacuated Tube Solar 543 Collector with Heat Pipe,” Mater. Today Proc., vol. 4, no. 14, pp. 12641–12646, Jan. 544 2017.
- [16] Yu, C.; Ren, Z.; and Zeng, M. (2018). Numerical investigation of shell-side performance for shell and tube heat exchangers with two different clamping type anti-vibration baffles. Applied Thermal Engineering, 133, 125-136.

- [17] Papadopoulos, A.M. Renewable energies and storage in small insular systems: Potential, perspectives and a case study. *Renew. Energy* 2020, 149, 103–114

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

Abstracts of Dissertations

Number 3, 2022

INSTITUTE OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES
BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

ИНСТИТУТ ПО ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ

Брой 3, 2022

Автореферати на дисертации