



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»**

**ΤΕΧΝΙΚΟ – ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ
ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:
ΘΕΡΜΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ – ΑΒΑΘΗΣ
ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ**

Σταυρούλα Γ. Μαστοράκη

Αθήνα, Ιούνιος 2012

Επιβλέπουσα: Καθηγήτρια Α. Κατσίρη

Στην οικογένειά μου

Ευχαριστίες

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω να εκφράσω προς την κ. Κατσίρη Α., Καθηγήτρια της σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Τομέα Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, για την ανάθεση του θέματος, την εμπιστοσύνη και το ενδιαφέρον που μου έδειξε, καθώς επίσης και τις χρήσιμες υποδείξεις κατά την εκπόνηση της εργασίας μου.

Επίσης, εκφράζονται ειλικρινείς ευχαριστίες προς την κ. Κορωνάκη Ε., Λέκτορα της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, Τομέα Θερμότητας, καθώς επίσης και προς τους κ.κ. Περδίο Στ. Δ., μηχανολόγο μηχανικό και επιστημονικό σύμβουλο του Ι.Ε.Κ.Ε.Μ - Τ.Ε.Ε. και Ψαρρά Ν., μελετητή συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας και διευθύνοντα σύμβουλο της Aid Engineering, για την έμπρακτη στήριξή τους με χρήσιμο βιβλιογραφικό υλικό.

Τέλος, θα ήθελα να απευθύνω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου, για την αμέριστη συμπαράστασή της κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής, καθώς επίσης και για την υποστήριξή της στη μέχρι τώρα σταδιοδρομία μου.

Μαστοράκη Γ. Σταυρούλα

Αθήνα, 2012

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	i
Περιεχόμενα	ii
Περίληψη.....	iv
Extended Abstract	vi
Introduction.....	vi
Heating and cooling technical systems distinction	vi
Solar thermal systems	vii
Description of technology	vii
Components of a solar thermal system	viii
Performance of solar panels	viii
Individual parts of a solar collector	ix
Power Output and Performance Collector.....	ix
Geothermal energy	xii
Applications - Results	xvi
1 Εισαγωγή στο Βιοκλιματικό – Ενεργειακό Σχεδιασμό	1
1.1 Εννοιολογική προσέγγιση – Στόχοι	1
1.2 Παράμετροι σχεδιασμού.....	3
1.2.1 Περιβαλλοντικές παράμετροι	3
1.2.2 Κτιριακές παράμετροι.....	4
1.3 Επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας	12
1.3.1 Συστήματα θέρμανσης - ψύξης.....	12
1.3.2 Παθητικά ηλιακά συστήματα (Π.Η.Σ.).....	13
1.3.3 Ενεργητικά ηλιακά συστήματα (Ε.Η.Σ.).....	20
2 Χρήση ενεργητικών συστημάτων για εξοικονόμηση ενέργειας – Ηλιακά συστήματα και γεωθερμικές αντλίες θερμότητας.....	26
2.1 Ηλιακά θερμικά συστήματα - Παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.....	26
2.1.1 Περιγραφή τεχνολογίας	26
2.1.2 Ταξινόμηση των συστημάτων	27
2.1.3 Απόδοση των ηλιακών συστημάτων – παράμετροι σχεδιασμού	33
2.1.4 Τα μέρη ενός ηλιακού θερμικού συστήματος	34
2.2 Ηλιακά θερμικά συστήματα - Θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής.....	45
2.2.1 Σχεδιαστικά ζητήματα – επιλογή συστήματος θέρμανσης.....	46

2.3	Η ελληνική αγορά ηλιακών συστημάτων.....	54
2.4	Γεωθερμία	57
2.4.1	Εισαγωγή – θεωρητικό υπόβαθρο αβαθούς γεωθερμίας	57
2.4.2	Τα μέρη ενός γεωθερμικού συστήματος	58
2.5	Η θέση της γεωθερμίας στο χάρτη της ενεργειακής αγοράς	65
3	Βασικές παράμετροι αναλύσεων – Αποτελέσματα αναλύσεων	69
3.1	Εισαγωγή – αντικείμενο μελέτης	69
3.1.1	Ενεργειακές παράμετροι προγράμματος - επεξηγήσεις	69
3.1.2	Οικονομικές έννοιες επενδυτικής ανάλυσης.....	83
3.1.3	Περιβαλλοντική αποτίμηση - Εκτίμηση εκπομπών CO ₂	88
3.1.4	Ανάλυση ευαισθησίας.....	89
3.1.5	Αναλύσεις - αποτελέσματα	91
4.	Σχολιασμοί και συμπεράσματα	129
	Βιβλιογραφία	136

Περίληψη

Η ανάγκη για μια ορθολογική ενεργειακή διαχείριση, σε συνδυασμό με την επιδείνωση της υποβάθμισης του περιβάλλοντος, καθώς επίσης και την ολοένα αυξανόμενη τιμολόγηση των συμβατικών καυσίμων, καθιστούν επιτακτική την εξεύρεση λύσεων σε ό,τι αφορά την εξασφάλιση των ενεργειακών απαιτήσεων των κτιριακών υποδομών.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής θέσης είναι η εκπόνηση τεχνικο – οικονομικής ανάλυσης και η περιβαλλοντική αποτίμηση της χρήσης εναλλακτικών μορφών ενέργειας σε επίπεδο προμελέτης. Συγκεκριμένα, εξετάζονται ως προτεινόμενα εναλλακτικά σενάρια ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τα ακόλουθα:

1. ένα σύστημα ηλιακών συλλεκτών υαλοκάλυπτου τύπου
2. ένα σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με κατακόρυφους γεωεναλλάκτες

Τα πεδία εφαρμογής των παραπάνω σεναρίων που μελετήθηκαν είναι τα ακόλουθα:

A. θέρμανση εσωτερικής κολυμβητικής δεξαμενής, επιφανείας 150m^2 , για θερμοκρασία νερού στους 29°C

B. παροχή ζεστού νερού χρήσης στους 60°C για ξενοδοχειακή μονάδα δυναμικότητας 120 κλινών.

Ως βασικό σενάριο αναφοράς εξετάζεται για τις ανωτέρω δύο περιπτώσεις, η χρήση λέβητα φυσικού αερίου.

Το υπολογιστικό εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε είναι το λογισμικό RETScreen® International. Οι επιλεγείσες εφαρμογές πραγματοποιήθηκαν για την περιοχή της Λάρισας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία διακρίνεται σε τέσσερα κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία εννοιολογική προσέγγιση των βασικών αρχών του ενεργειακού –βιοκλιματικού σχεδιασμού. Γίνεται μια γενική αναφορά στους τρόπους επέμβασης με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια, τόσο με τη χρήση παθητικών, όσο και με τη χρήση ενεργητικών συστημάτων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο των ηλιακών συστημάτων και της αβαθούς γεωθερμίας, τα οποία αποτελούν και το βασικό αντικείμενο προς μελέτη στο παρόν πόνημα.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μία ανάλυση και επεξήγηση των ενεργειακών παραμέτρων και των οικονομικών όρων που αποτελούν τις μεταβλητές εισόδου του χρησιμοποιούμενου λογισμικού RETScreen® International, ενώ ακολούθως

παρουσιάζονται οι παραδοχές και τα αποτελέσματα των αναλύσεων σε τεχνικό - οικονομικό αλλά και σε περιβαλλοντικό επίπεδο.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθενται τα διάφορα σχόλια επί των αναλύσεων και τα τελικά συμπεράσματα.

Extended Abstract

Introduction

The deterioration of environmental degradation, as well as increasing pricing of fossil fuels, raises imperatively the need for a rational energy management in terms of energy requirements of building infrastructure.

The aim of this postgraduate thesis is the development of technical - economic analysis and environmental assessment of the use of renewable sources of energy; in particular, an examination of alternative scenarios, proposing renewable energy sources as follows:

1. The use of a solar collector system of glazed type.
2. The use of a ground source heat pump with vertical closed- loop system.

The scope of the above scenarios studied is:

- A. Heating an internal swimming pool, 150m², at 29°C.
- B. Providing hot water at 60°C for a hotel - capacity of 120 beds.

As a basic reference scenario considered for the above two cases, the use of a natural gas boiler is assumed.

The computational tool used, is the software RETScreen ® International. The applications were selected for the region of Larissa.

Heating and cooling technical systems distinction

The technical systems developed for the exploitation of renewable energy for heating and cooling of buildings are divided into three basic categories, depending on whether or not a mechanical system is required:

- *Passive*: these systems do not include mechanical means to transfer heat to space.

The exploitation of solar radiation is mainly based on the natural flow of thermal energy due to the physical properties of materials of the building and mainly utilizes as storage of heat the building envelope itself (floors, walls, ceilings, roofs).

- *Active*: these systems require compulsorily mechanical means (whether simple or complex) and include various mechanisms for collection, transportation and storage of thermal energy derived from a primitive form of renewable energy. Such typical examples are the use of solar panels for the provision of hot water or air, which is then conducted into the heat distribution system in place, or geothermal energy systems, which the present thesis is dealing with.

- *Hybrid*: these systems combine the physical and mechanical flow of heat. Based on the exploitation of the primarily passive renewable energy, also pose mechanical systems and simple constructions. A typical example is adding a fan to a passive system to assist the heat transfer to the rear parts of a building or a thermostat to control heat given by the current passive system.

Solar thermal systems

Solar thermal systems are responsible for the conversion of solar radiation into heat, by using panels and storage tanks as separate sub - systems, while the energy transfer through the heated fluid (water or air) is accomplished either by natural flow or with a pump.

Description of technology

A typical system consists of solar collectors, a hot water storage tank, necessary piping and a control system. The solar radiation is absorbed by the collector and the heat collected, based on natural or artificial means, ends in the tank. The hot water produced by solar thermal systems is stored in special tanks in order to be consumed throughout the building.

Based on ISO / DIS 9488 the classification of these systems according to the mechanism of operation is as follows:

- Stand-alone systems without auxiliary heating source.
- Preheating systems, which preheat water and then supply other conventional heating systems.
- Hybrid systems, which utilize solar and conventional systems, so they can cover heating requirements, regardless of the availability of solar energy.

Depending on the fluid used for collection and storage of solar energy, the systems can be classified into the following:

- Air Systems for space heating, drying agricultural products and other industrial applications.

- Fluid systems for hot water supply for domestic and industrial use, air conditioning, water heating for swimming pools, and finally as an energy source for heat pumps.

Components of a solar thermal system

The function of solar panels is based on the greenhouse effect, which develops in the space between the absorbing plate and the glass cover. Initially, solar radiation incidents on the dark absorbing plate, increasing its temperature. The plate in turn emits long wave radiation (thermal radiation) for which the overlying glass covering the plate is almost transparent (not penetrated by infrared radiation). Therefore the long wave radiation is trapped between the plate and the glass cover, resulting to an increase of performance. Tubes in which circulates fluid are in contact with the plate on the back or are embedded in it. Of foundational importance in terms of system performance, is the absorbance of the plate to solar radiation, the emissivity of the plate in the long wave radiation (it must be small) and the opacity of the glass cover on the infrared radiation. Optimal combination of materials that offer the best value for money - price is the glass and the surface of aluminum or copper colored black. The extent of absorption of various absorbing plates ranges from 0.8 to 0.98 with the rest of 0.2 and 0.02 respectively reflected. Depending on the method of manufacture, as mentioned above, the solar collectors are flat, consolidated or vacuum.

Performance of solar panels

The flat-plate collectors generally produce relatively little heat, which will be used to heat water or space. The relatively low intensity of solar radiation on the surface of the collector, in combination with increased heat losses to the environment due to large surface, do not allow the achievement of temperatures above 150 ° C. The normal operating range is from 40 ° C to 100 ° C. The largest percentage of incident solar energy (direct and diffuse) is absorbed by a surface that behaves like a "black body" in the sunlight. Part of the absorbed radiation is transferred to a fluid, while the rest is lost to the environment. The amount of heat drawn from the fluid is the net energy gain of the collector and stored or fed directly to the load. This profit level for a solar collector is 350-400 kWh / m² year for annual solar radiation 1000 kWh / m² year. Some of the characteristics of flat solar collectors can be summarized as follows:

- Use in applications requiring energy efficiency in temperatures that average up to about 100 ° C above the ambient temperature.
- Exploitation both of direct and diffuse radiation.
- Special mechanism is not required to track the sun (“tracking”). However, it is preferable in order to maximize the annual solar gains and therefore they are mechanically simpler than cumulative types.
- They require little maintenance. Regular cleaning of the surface is enough to prevent deposition of pollutants and suspended solids.
- Main applications are hot water supply and air heating of buildings, as well as air conditioning and heat for industrial use.

Individual parts of a solar collector

- The cover, usually made of glass or transparent plastic, is responsible for reducing heat losses by convection and radiation to the environment.
- The absorbing plate, is a metal surface of high thermal conductivity (typically copper or aluminum) with a dark coating.
- The transmission network consists of pipes or ducts usually made of copper and is in contact with the absorbing plate, where the circulating fluid extracts heat from the absorber.
- Insulation of the side surfaces is of fundamental importance in order to reduce heat losses to the environment. Insulation thickness greater than 15 cm is usually sufficient.
- The casing, metal or plastic frame that holds the building and offers protection from the environment (rain, humidity, dust).

Power Output and Performance Collector

The energy balance on a flat solar collector gives the amount of heat delivered by the collector in function with the surface area, the absorbed solar radiation, the heat loss coefficient of the collector and the difference between the average temperature of the collector and the temperature of the air:

$$Q_u = A_c \cdot [S - U_L \cdot (T_m - T_a)]$$

Where:

Q_u , the useful heat (power) returned by the collector (W)

A_c , the collector surface (surface cover) (m²)

S , the absorbed solar radiation, that is the difference between the incident radiation and the optical losses (W / m²)

U_L , the overall heat loss coefficient of collector, which expresses the heat losses from the collector to the environment by conduction, convection and radiation (W / m² ° C)

T_m , the average temperature of the absorber (° C)

T_a , the ambient temperature (° C)

The total U_L heat loss coefficient of collector consists of three terms:

$$U_L = U_t + U_b + U_e$$

Where:

U_t , the heat loss factor peak

U_b , the bottom heat loss coefficient

U_e , the side heat loss coefficient

The absorbed solar radiation from the absorbing plate is calculated assuming that on the collector with a slope of β - angle the incident radiation comprises three components: the direct one, the diffuse sky one and the diffuse reflectance, coming from the ground. Therefore we assume on an hourly basis:

$$S = I_b \cdot R_b \cdot (\tau\alpha)_b + I_d \cdot (\tau\alpha)_d \cdot \frac{1+\cos\beta}{2} + \rho \cdot (I_b + I_d) \cdot (\tau\alpha)_g \cdot \frac{1-\cos\beta}{2}$$

Where:

β , the angle of the surface

ρ , the reflectance of the soil

I_b , the hourly direct radiation on the horizontal plane

I_d , the hourly diffuse radiation on horizontal plane

$(\tau\alpha)_b, (\tau\alpha)_d, (\tau\alpha)_g$, the products of permeation and absorption for the direct, diffuse sky and diffuse reflectance coming from the ground radiation.

The above formula for the estimation of absorbed energy from the absorbing plate can be simplified by considering a mean product $(\tau\alpha)_m$ therefore:

$$S = (\tau\alpha)_m \cdot G_t$$

Where:

G_t , is the total incident radiation into the slope of the collector.

The product of the permeability of the cover on the absorption of the absorbing plate (S) is a parameter required for the estimation of solar loads. Solar radiation, after passing through the transparent cover and reaching the absorbing surface, is divided, and part of it is absorbed, while another is reflected back on the cover causing a succession of reflections and absorptions.

For usual applications the approach below can be assumed:

$$(\tau\alpha) = 1,01 \cdot \tau \cdot \alpha$$

Where:

τ , the rate crossing the glass cover

α , the absorption coefficient of the black absorption surface.

Nevertheless, the average temperature of the collector is difficult to be calculated. For this reason, a new parameter is introduced, the gain factor of thermal collector F_R , which expresses the ratio of real Q_u power provided to the heat that would be offered if the entire absorbing surface had the fluid inlet temperature $T_{f,i}$:

$$F_R = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{f,o} - T_{f,i})}{A_c \cdot [S - U_L \cdot (T_{f,i} - T_a)]}$$

Where:

$T_{f,o}$, the outlet temperature of fluid from the collector ($^{\circ}$ C)

$T_{f,i}$, the inlet temperature of fluid in the collector ($^{\circ}$ C)

T_a , the ambient temperature ($^{\circ}$ C)

C_p , the special heat capacity of fluid (J / kgr $^{\circ}$ C)

\dot{m} , the total mass flow of the collector (kgr / sec)

The maximum heat gain in a solar collector is achieved when the collector is at the same temperature as the inlet temperature of fluid in it. Actual heat gain is:

$$Q_u = A_c \cdot F_R \cdot [S - U_L \cdot (T_{f,i} - T_a)]$$

As a measure of efficiency of the collector the n - ratio is used, which expresses the energy output during period t to the incident solar energy at the same time.

$$n_i = \frac{Q_u}{A_c \cdot G_T} = F_R \cdot (\tau\alpha) - F_R \cdot U_L \cdot \frac{(T_i - T_a)}{G_T}$$

The instantaneous efficiency of the collector can also be expressed in terms of inlet and outlet temperature of the heated fluid T_0, T_i :

$$n_i = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_0 - T_i)}{A_c \cdot G_T}$$

Geothermal energy

Geothermal energy is the energy that remains stored in the surface or deeper layers of the geological formations and underground aquifers on Earth. The energy derived from the shallow surface layers is called shallow geothermal energy, whereas from the bowels of the earth, geothermal potential. Since the ground transports heat slowly and have a high heat storage capacity, its temperature changes slowly, on the order of months or even years, depending on the depth of the measurement. As a consequence of this low thermal conductivity, the soil can transfer some heat from the cooling season to the heating season. As a result, heat absorbed by the earth during the summer effectively gets used in the winter. This yearly, continuous cycle between the air and the soil temperature results in a thermal energy potential that can be harnessed to help heat or cool a building. Another thermal characteristic of the ground is that a few meters of surface soil insulate the earth and groundwater below, minimizing the amplitude of the variation in soil temperature in comparison with the temperature in the air above the ground. This thermal resistivity fluctuations further helps in shifting the heating or cooling load to the season where it is needed. The earth is warmer than the ambient air in the winter and cooler than the ambient air in the summer.

Maintaining the desired temperature for heating the building interiors, as well as for hot water or heating swimming pool, which is one of the aims of this postgraduate thesis is a very intensive process. Given that 46% of solar energy absorbed by the ground, geothermal energy promises to contribute to such a dynamic energy demand. In addition, geothermal energy does not need to "come from away", but is available locally in large quantities.

A geothermal heat pump (GSHP) is tasked with turning the Earth energy (heat) into usable form, suitable for heating or cooling. The operating philosophy of a geothermal

system is essentially based on the exchange of heat and cooling loads between ground and space. The geothermal heat pump cannot create but transfer energy.

Due to the low electricity consumption and minimum maintenance equipment with the added advantage that no combustion products obtained directly, can achieve energy savings around 30-70% in heating and 20-50% in cooling.

A ground-source heat pump (GSHP) system has three major components: a heat pump, an earth connection and an interior heating or cooling distribution system. These three major components, together with the different earth connection configurations of a typical GSHP installation, are explained in the following sections. The heat pump transfers the heat between the heating/cooling distribution system and the earth connection. It is the basic building block of the GSHP system. The most common type of heat pump used with GSHP systems is a “water-to-air” unit ranging in size from 3.5 kW to 35 kW of cooling capacity. The water-to-air designation indicates that the fluid carrying heat to and from the earth connection is water or a water/ antifreeze mix and that the heat distribution system inside the building relies on hot or cold air. The heat pump may be an extended range unit, allowing lower entering fluid temperatures in heating mode and higher entering fluid temperatures in cooling mode. All the components of this type of heat pump are in one enclosure: the compressor, an earth connection-to-refrigerant heat exchanger, controls, and an air distribution system containing the air handler, duct fan, filter, refrigerant-to-air heat exchanger, and condensate removal system for air conditioning. In heating mode, the heat pump works as follows: heat from the earth connection arrives at an earth connection-to-refrigerant heat exchanger called the evaporator. On the other side of the heat exchanger is cold refrigerant in a mostly liquid state.

The refrigerant is colder than the temperature of the heat transfer fluid from the earth connection, so heat flows into the refrigerant. This heat causes the liquid refrigerant to evaporate; its temperature does not increase much. This gaseous, low pressure and low temperature refrigerant then passes into an electrically-driven compressor. This raises the refrigerant’s pressure and, as a consequence, its temperature. The high temperature, high pressure, gaseous output of the compressor is fed into a second heat exchanger, called the condenser. In water-to-air heat pumps, a fan blows air to be heated through this “air coil”. In water-to-water heat pumps, water which will heat the building flows through the condenser. Since the refrigerant is hotter than the air or water, it transfers heat to it. As it loses heat, the refrigerant’s temperature drops

somewhat and it condenses. This high temperature liquid refrigerant then passes through an expansion valve. The valve reduces the pressure of the refrigerant, and as a consequence, its temperature drops significantly. Now, this low temperature liquid flows to the evaporator, and the cycle starts again. In this way, the heat from the water or other heat transfer fluid in the earth connection is transferred to the air or water in the building: hence the name “water-to-air heat pump” or “water-to-water heat pump”. One significant difference between a ground-source heat pump and a refrigerator is that the ground-source heat pump is meant to run in both directions. When in cooling mode, the earth connection-to-refrigerant heat exchanger becomes the condenser, and the refrigerant- to-air heat exchanger becomes the evaporator. This is accomplished through a reversing valve inside the heat pump. A desuperheater, provides domestic hot water when the compressor is operating. The desuperheater is a small auxiliary heat exchanger at the compressor outlet. It transfers excess heat from the compressed gas to water that circulates to a hot water tank. During the cooling season, when air-conditioning runs frequently, a desuperheater may provide all the hot water needed in a residential application. Some residential heat pumps are designed to provide hot water year round in quantities sufficient to meet a household’s needs

The earth connection is where heat transfer between the GSHP system and the soil occurs. GSHPs comprise a wide variety of systems that use the ground, ground water, or surface water as a heat source and sink. One common type of earth connection entails tubing buried in horizontal trenches or vertical boreholes, or alternatively, submerged in a lake or pond. An antifreeze mixture, water, or another heat-transfer fluid is circulated from the heat pump, around the tubing, and back to the heat pump in a “closed loop.” “Open loop” earth connections draw water from a well or a body of water, transfer heat to or from the water, and then return it to the ground or the body of water.

Ground-Coupled Heat Pumps (GCHPs) - use the ground as a heat source and sink, either with vertical or horizontal Ground Heat exchangers (GHXs). Groundwater Heat Pumps (GWHPs) - use underground (aquifer) water as a heat source and sink. Surface Water Heat Pumps (SWHPs) - use surface water bodies (lakes, ponds, etc.) as a heat source and sink; and Ground Frost Heat Pump (GFHPs) - maintain sound structural fill in natural permafrost around foundations by extracting heat from the fill. Since all earth connections in a GSHP system are usually very difficult to access after

installation, the materials and workmanship used in construction must be of the highest quality. High-density polyethylene piping and fusion-bonded pipe connections are used almost exclusively. Experienced GSHP installers should implement ground-heat exchangers and groundwater wells using specific equipment.

Ground-Coupled Heat Pumps (GCHPs): In a GCHP system, a series of buried pipes circulates a heat transfer fluid in a closed loop: the fluid never leaves the system, but rather travels back and forth in a loop between the earth connection and the heat pump. This circulating fluid is either water or an antifreeze solution⁴, if freezing temperatures are expected. The ground heat exchanger can make use of a series of deep vertical holes (boreholes) or a horizontal arrangement of pipes buried a few of meters below the surface. The vertical GHX is well suited to larger buildings where the bedrock is close to the surface, when minimal disruption of the landscaping is desired, or where little land is available for the GHX. Because the ground temperature is steady year round below the surface, vertical GHXs are more efficient than horizontal GHXs, which may experience seasonal temperature fluctuations. Vertical loops are generally more expensive to install than horizontal ones, but require less piping due to the stable temperatures. The boreholes, 45 to 150 m in depth, are drilled by rigs normally used for drilling wells. They contain either one or two loops of pipe with a U-bend at the bottom. After the pipe is inserted, the hole is backfilled and grouted. The grout prevents surface water from draining into the borehole and the groundwater, and also prevents the water from one borehole from leaking into an adjacent borehole. Following backfilling and grouting, the vertical pipes are connected to horizontal underground supply and return header pipes. The header pipes carry the GHX heat transfer fluid to and from the heat pump. The horizontal GHX configuration is often less expensive to install than the vertical arrangement, but requires a larger land area. For this reason, it is usually better suited to smaller applications such as residential and small commercial buildings. It can be especially attractive if excavating and trenching equipment is available and when the upper few meters of the ground are amenable to excavation. A horizontal GHX consists of a series of pipes laid out in trenches, usually one to two meters below the surface. Typically, about 35 to 55 meters of pipe are installed per kW of heating and cooling capacity. Many configurations of the horizontal GHX are possible. When land area is limited, a coiled pipe, also called “slinky” or spiral, may be used in order to fit more piping into a trench area. While this reduces the amount of land used it requires more

pipes, which results in additional costs. The trench is backfilled once the pipe has been laid out.

Applications - Results

In this chapter a comparative analysis is implemented between two alternatives RES scenarios, that of the central solar thermal system (STS) and that of geothermal heat pumps (G.S.H.P.) with closed vertical loops, for heating an internal swimming pool, 150m² surface and hot water supply for hotel capacity of 120 beds in the region of Larissa. In both cases, the basic reference scenario is the use of gas boiler. The two case studies were prepared using the software RETScreen ® International (www.etscreen.com), based on the following assumptions:

- Cost of gas: 0,9 € / m³
- Cost of electricity: 0,09 € / kWh
- Use of the swimming pool cover for the hours not used.
- Use of solar collectors of glazed type
- Use of vertical loops type U, diameter 32mm
- Project life of the investment: 20 years
- Inflation: 2.5%
- Discount rate for calculating NPV: 10%
- Fuel cost escalation rate (natural gas): 3%
- We also believe that the investor has 70% of the required principal and "leverage" investing, borrowing the remaining 30% with a 7% interest rate with repayment commitment for 10 years.
- Emission factor of air pollutants (CO₂): for the gas: 0,474 t CO₂ / MWh of consumed gas

The results from the applications are as follow:

Table 1: Annual solar radiation for horizontal and inclined plane (40deg) for the region of Larissa
(Retscreen 4 International Software, 2012)

Annual solar radiation – horizontal plane	MWh/m ²	1,52
Annual solar radiation – inclined plane (40deg)	MWh/m ²	2,11

Table 2: Summary of technical – financial and environmental results for heating internal swimming pool, 150m² and hot water supply of a hotel of capacity 120 beds for the region of Larissa
(Retscreen 4 International Software, 2012)

	Solar Collectors System	Ground Source Heat Pumps with Vertical Loops
Heating internal swimming pool – 150m²: 85.2MWh annual demand		
Payback of heating cost	5,7 years	9,6 years
Net Present Value (n=20years)	38.590 €	9.452 €
Solar Fraction (optimum)	81%	100%
System performance	21,5%	COP=2,8
Affordability of satisfying part of building cooling loads	no	yes
Net annual GHG emission reduction (t CO₂/year)	19,7 t CO ₂ /year	11,8 t CO ₂ /year
Hot water supply for capacity of 120 beds: 191.6MWh annual demand		
Payback of heating cost	3,0 years	9,4 years
Net Present Value (n=20years)	102.592 €	25.051 €
Solar Fraction (optimum)	60%	100%
System performance	38%	COP=2,8
Affordability of satisfying part of building cooling loads	no	yes
Net annual GHG emission reduction (t CO₂/year)	31,1 t CO ₂ /year	26,7 t CO ₂ /year

In conclusion, it seems that for the two specific applications, that of heating the swimming pool and that of hot water supply, solar thermal systems display a faster

payback period than the ground source heat pumps and indicate a better financial viability according to the net present value. However, it is practically impossible to achieve complete satisfaction of 100% of demand from solar systems, given the decline in system performance, making such an enterprise anti - economic. Therefore, a complementary use of conventional gas boiler is proposed in this case. Both financial and environmental benefits, in this case, as assessed through the use of software, are important.

For the case of shallow geothermal energy, the payback seems to occur later, as well as with a lower net present value. However, it is possible to entirely cover the heating load demand, while exploiting the energy supplied by the cooling system. As a result it is possible to satisfy part of the cooling loads with a further saving of costs. The final choice lies in the users' objectives and needs. Consequently a careful study and in situ visit is of great importance in order all factors involved to be taken into consideration.

1 Εισαγωγή στο Βιοκλιματικό – Ενεργειακό Σχεδιασμό

1.1 Εννοιολογική προσέγγιση – Στόχοι

Η ανάγκη για μια ορθολογική ενεργειακή διαχείριση, σε συνδυασμό με την επιδείνωση της υποβάθμισης του περιβάλλοντος, καθιστούν επιτακτική την ανάγκη ενός σύγχρονου τρόπου δόμησης. Η νέα αυτή προσέγγιση λαμβάνει υπ' όψιν της όχι μόνο τη μορφή των κτιρίων και τα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά, αλλά συγχρόνως και την ποιότητα των κατασκευών.

Ο όρος «βιοκλιματικός σχεδιασμός» βρίσκει τις απαρχές του στη σχέση μεταξύ κλίματος και έμβιων οργανισμών (Olgay, 1963). Εξελισσόμενος δυναμικά στο χρόνο, σε ό,τι αφορά το σχεδιασμό κτιρίων, ενσωμάτωσε μία πληθώρα παραμέτρων: την τοπογραφία του οικοπέδου, το έδαφος, το τοπικό μικροκλίμα, τον προσανατολισμό του κτιρίου, το ποσοστό των ανοιγμάτων του, το κέλυφος, τα υλικά, τα συστήματα παραγωγής ενέργειας, αξιοποίησης ΑΠΕ, ενώ ταυτόχρονα προτείνει τρόπους για την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Συνεπώς, «η βιοκλιματική αντίληψη για το σχεδιασμό κτιρίων και οικιστικών συνόλων εντάσσεται στη στρατηγική της βιωσιμότητας, μιας ήπιας, συμβιωτικής διαχείρισης του περιβάλλοντος –φυσικού και δομημένου. Με άλλα λόγια, αν ο βιοκλιματικός σχεδιασμός είναι το μέσον, τότε η αειφόρος ανάπτυξη είναι το αποτέλεσμα» (Hyde, 2008, σ. 21). Πιο απλά, ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων είναι η εφαρμογή τεχνικών, στρατηγικών και σχεδιαστικών λύσεων που ικανοποιούν τις ανάγκες των χρηστών εξασφαλίζοντας συνθήκες άνεσης, ενώ αξιοποιούν τις περιβαλλοντικές πηγές ενέργειας με τη μικρότερη ενεργειακή εξάρτηση του κτιρίου από συμβατικά καύσιμα.

Σήμερα υπάρχουν πλέον αποφάσεις σε παγκόσμιο επίπεδο για την προστασία του περιβάλλοντος, την κλιματική αλλαγή και τη βιώσιμη ανάπτυξη, με ακρογωνιαίο λίθο για την προώθηση της βιοκλιματικής και ενεργειακής λογικής, την κατάρτιση νομοθετικού πλαισίου. Οι βασικές διεθνείς αποφάσεις παρατίθενται ακολούθως:

- Σύνοδος του ΟΗΕ για το Περιβάλλον στη Στοκχόλμη (1972): Ο πρώτος σημαντικός σταθμός για την εδραίωση της σημασίας του περιβάλλοντος σε παγκόσμια κλίμακα.
- Διάσκεψη του Ρίο (1992): Με θέμα «Περιβάλλον και Ανάπτυξη» για πρώτη φορά συνδέεται η οικονομική ανάπτυξη με το περιβάλλον. Τα αποτελέσματα της διάσκεψης παρουσιάζονται στην Ατζέντα 21.

- Πρωτόκολλο του Κιότο (1997): η πρώτη διεθνής διάσκεψη για την κλιματική αλλαγή.
- Διάσκεψη Κορυφής του Γιοχάνεσμπουργκ (2002): Με θέμα την Βιώσιμη Ανάπτυξη αποτελεί συνέχεια της διάσκεψης του Ρίο. Η Ευρωπαϊκή Ένωση, δέκα χρόνια περίπου μετά τις αποφάσεις του Ρίο για την Αειφόρο Ανάπτυξη, υιοθέτησε μια σαφή Στρατηγική για την Αειφόρο Ανάπτυξη κατά το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο του Γκέτεμποργκ (Ιούνιος 2001). Εκεί προστέθηκε η τρίτη διάσταση, η οποία συμπληρώνει τις ανειλημμένες πολιτικές δεσμεύσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης για οικονομική σύγκλιση και κοινωνική συνοχή και έδωσε σημαντική ώθηση στην ολοκλήρωση της διαδικασίας Κάρντιφ, για την ενσωμάτωση περιβαλλοντικών απαιτήσεων στις τομεακές πολιτικές. Συγκεκριμένοι κρίσιμοι σταθμοί σε αυτή τη διαδικασία είναι οι παρακάτω:
- Συμβούλιο του Γκέτεμποργκ (2001)
- Ευρωπαϊκό Συμβούλιο της Βαρκελώνης (2002)
- Πράσινη Βίβλος για την εμπορία εκπομπών αερίων φαινομένου θερμοκηπίου εντός E.E. (2000)
- Απόφαση 1411/2001/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27ης 2001 σχετικά με το κοινοτικό πλαίσιο συνεργασίας για την προαγωγή της βιώσιμης ανάπτυξης σε αστικό περιβάλλον
- Η Συνθήκη της Λισαβόνας (13 Δεκεμβρίου του 2007) έχει επιπρόσθετες συμφωνίες που αφορούν την κλιματική αλλαγή και την καταπολέμηση του φαινομένου του θερμοκηπίου που έχει τεθεί ως στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επίσης, ορισμένα τμήματα των συνθηκών έχουν τροποποιηθεί ώστε να περιλάβουν ενότητα στο θέμα της ενεργειακής παροχής καθώς και στην ενεργειακή πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- Η 2002/91/EK Κοινοτική Οδηγία περί ενεργειακής απόδοσης κτιρίων.
- Η χώρα μας εναρμονίζεται με τις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης προσαρτώντας την ανωτέρω Κοινοτική Οδηγία στο Εθνικό Δίκαιο ως Ν.3661/2008 και δημοσιεύεται πλέον ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων – Κ.Εν.Α.Κ. (Φ.Ε.Κ. 407/9-4-2010)

Η υιοθέτηση του βιοκλιματικού - ενεργειακού σχεδιασμού των κτιρίων εξυπηρετεί τέσσερις (4) βασικούς στόχους (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010):

- Την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας και της υποκατάστασής τους από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση συμβατικής ενέργειας.
- Την εξοικονόμηση χρημάτων μέσω της εκμετάλλευσης της αδάπανης ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση των κτιρίων ή/ και των δροσερών ανέμων για φυσικό δροσισμό, με σημαντικό οικονομικό όφελος της τάξης του 50%-ενδεχομένως δε σε ορισμένες περιπτώσεις και μεγαλύτερο.
- Την προστασία του περιβάλλοντος, λόγω του περιορισμού χρήσης συμβατικών καυσίμων και ηλεκτρισμού, με αποτέλεσμα τη μείωση των εκλυόμενων ρύπων στην ατμόσφαιρα.
- Τη βελτίωση του κτιριακού εσω- κλίματος με διασφάλιση συνθηκών βιολογικής άνεσης – θερμικής και οπτικής, ποιότητας αέρα – και τη δημιουργία υγιεινών συνθηκών κατοικησιμότητας.

1.2 Παράμετροι σχεδιασμού

Προκειμένου να επιτευχθεί ο σωστός βιοκλιματικός σχεδιασμός καθοριστικές παράμετροι θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη από τον εκάστοτε μελετητή:

1.2.1 Περιβαλλοντικές παράμετροι

Το κλίμα του τόπου: συνιστά το σύνολο των μετεωρολογικών στοιχείων μιας περιοχής και επηρεάζει την ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα στο κτίριο και το εξωτερικό περιβάλλον. Ως εκ τούτου διαμορφώνει σε μεγάλο βαθμό το επίπεδο θερμικής άνεσης και ευεξίας για τον χρήστη. Ταυτόχρονα, καθορίζει την ποσότητα και την ποιότητα του προσφερόμενου φυσικού φωτός και επομένως και της οπτικής άνεσης. Ως απαραίτητες σχετικές παράμετροι για το σχεδιασμό κρίνονται οι ακόλουθες:

- Η θερμοκρασία του αέρα (μέση, μέγιστη και ελάχιστη) για κάθε εποχή (χειμώνα – καλοκαίρι)
- Η ηλιακή ακτινοβολία και η ένταση σε μηνιαία βάση
- Τα ανεμολογικά δεδομένα (ψυχροί χειμερινοί – δροσεροί καλοκαιρινοί άνεμοι κατά κατεύθυνση και ένταση)
- Η σχετική υγρασία (μέση, μέγιστη και ελάχιστη) για κάθε εποχή (χειμώνα – καλοκαίρι)

Η αξία των παραπάνω παραμέτρων έγκειται στο ζήτημα της χωροθέτησης του κτιρίου στο οικοπέδο, με σκοπό το μέγιστο ενεργειακό κέρδος: ηλιασμός το χειμώνα, δροσεροί άνεμοι το καλοκαίρι, αποφυγή ψυχρών ανέμων και υγρασίας. Η συλλογή

των στοιχείων αυτών είθειςτε να γίνεται από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό.

Το φυσικό περιβάλλον: συντίθεται από μια συνισταμένη παραγόντων όπως:

- Το ανάγλυφο του εδάφους και η κλίση του οικοπέδου, που θα καθορίσουν αφ' ενός μεν το αποτύπωμα της χωροθέτησης, αφ' ετέρου δε την επίπεδη ή κλιμακωτή κατά περίπτωση διάταξή του
- Η εύρεση των προσήνεμων και υπήνεμων παρειών του
- Τα γύρω κτίρια και η τοπική βλάστηση, ώστε να αποφεύγεται σκίαση το χειμώνα και να επιδιώκεται το καλοκαίρι. Ο μελετητής για παράδειγμα θα μπορούσε να αποφύγει έναν ηλιακό τοίχο σε περίπτωση που απέναντι βρίσκεται ένα πολύ ψηλό κτίριο με αποτέλεσμα την παντελή σκίαση του ανοίγματος ή θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει σε νότια ανοίγματα φύτευση φυλλοβόλα ώστε να παρέχεται σκίαση και φυσικός δροσισμός το καλοκαίρι και ηλιασμός το χειμώνα
- Η γειτνίαση με υγρό στοιχείο (θάλασσα, ποτάμι, λίμνη) απαιτεί κατάλληλη προστασία του κτιρίου έναντι αυξημένης υγρασίας, ιδίως το χειμώνα

1.2.2 Κτιριακές παράμετροι

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμη μία σύντομη παρένθεση προκειμένου να δοθούν κάποιες αρχές και έννοιες που θα χρησιμοποιούνται κατά κόρον στη συνέχεια.

Με τον όρο **κέλυφος** εννοούμε το σύνολο των διαφανών και αδιαφανών δομικών στοιχείων, τα οποία καθορίζουν το εξωτερικό περίγραμμα του κτιρίου και διαχωρίζουν τον εσωτερικό από τον εξωτερικό χώρο.

Με τον όρο **θερμικά κέρδη** εννοούμε κυρίως την απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία και την ανθρωπογενή θερμότητα που εκλύεται από καυστήρες και λοιπές συσκευές.

Με τον όρο **θερμικές απώλειες** εννοούμε κυρίως τη μεγάλου μήκους θερμική ακτινοβολία που εκπέμπει κάθε δομικό στοιχείο το κτίριο στο σύνολό του εν γένει αλλά και τη θερμότητα που απάγεται από αυτά μέσω μεταφοράς εξαιτίας της κίνησης του αέρα.

- ✓ Ο προσανατολισμός του κτιρίου και των ανοιγμάτων του στο οικόπεδο προς αύξηση των ηλιακών κερδών οφείλει να διασφαλίζει το νότιο προσανατολισμό της μεγαλύτερης όψης του (ο άξονας δηλαδή να κινείται κατά τη διεύθυνση Δ-Α, με επιτρεπόμενη απόκλιση $\pm 30^\circ$), ούτως ώστε η

πλειονότητα των ανοιγμάτων του να εξασφαλίζει μεγαλύτερη συλλογή ηλιακής θερμότητας κατά τους χειμερινούς μήνες. Συγκεκριμένα υιοθετείται ο εμπειρικός κανόνας λόγου βάρους προς πλάτος κάτοψης 1/1,5 (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20702-5/2010, §1.3.1.2). Τα οφέλη που αποκομίζει το κτίριο από το νότιο προσανατολισμό των διαφανών του επιφανειών είναι σημαντικά:

- ✓ Γίνεται καλύτερη κατανομή των ηλιακών κερδών στο κτίριο σε σχέση με άλλους προσανατολισμούς
- ✓ Επιτυγχάνεται σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση το χειμώνα
- ✓ Ο κίνδυνος υπερθέρμανσης το καλοκαίρι είναι μικρότερος σε σχέση με αυτόν που συνεπάγεται η ύπαρξη ανατολικών και δυτικών ανοιγμάτων
- ✓ Η ηλιοπροστασία μπορεί να καταστεί αποτελεσματική με χρήση απλών οριζόντιων σκιάστρων ή προεξοχών ή ακόμη και εξωστών.
- ✓ Ο προσανατολισμός των εσωτερικών χώρων του: συναρτάται άμεσα με τις ανάγκες των χρηστών. Αποτελεί συνήθη πρακτική χώροι των οποίων η χρήση είναι ολιγόωρη, να τοποθετούνται προς τη βορεινή πλευρά του κτιρίου που το χειμώνα είναι η λιγότερο φωτεινή και πιο ψυχρή. Παράλληλα, η χώροι αυτοί δρουν ανασχετικά ως προς την απώλεια θερμότητας από τις ζώνες κύριας χρήσης, εισπράττοντας για λογαριασμό τους, τους ψυχρούς ανέμους.
- ✓ Ο λόγος των αδιαφανών προς τα διαφανή του στοιχεία: μπορούν να καταστήσουν το χαρακτήρα ενός κτιρίου «αμυντικό» ή «επιθετικό» (ΔΙΠΕ, 2009). Εν γένει μια τέτοια απόφαση βασίζεται κυρίως στις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες και στη χρήση του κτιρίου. Καθίσταται πάντως προφανές ότι ένα «επιθετικό», δηλαδή κτίριο μεγάλων ανοιγμάτων, επιτρέπει μεν τη φυσική και οπτική επαφή του εσωτερικού με το εξωτερικό περιβάλλον, ωστόσο όμως αυξάνει την αλληλεπίδραση και κατά συνέπεια η ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου γίνεται πιο μεταβλητή και ευαίσθητη στις κλιματικές αλλαγές έναντι ενός «αμυντικού» κτιρίου με λιγότερα και μικρότερα ανοίγματα. Απαιτείται όμως συνετή υιοθέτηση ενός τέτοιου κανόνα. Εάν δεν είναι δυνατός ο νότιος προσανατολισμός του κτιρίου, η απουσία ηλιακών κερδών θα έχει ως αποτέλεσμα τη φτωχή ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου. Σε περίπτωση νοτίου προσανατολισμού ωστόσο, θα πρέπει να λαμβάνεται ειδική μέριμνα για την τοποθέτηση κατάλληλων σκιάστρων που θα προστατεύουν κατά τους θερινούς μήνες από την υπερθέρμανση και χρήση κατάλληλων θερμομονωτικών υαλοπινάκων

(«ενεργειακά τζάμια») ώστε να αποφεύγονται εκτεταμένες θερμικές απώλειες κατά τους χειμερινούς μήνες.

- ✓ Θερμική μάζα- θερμοχωρητικότητα: για τη συλλογή ηλιακής θερμότητας. Ως βέλτιστη «ηλιακή αποθήκη» για ένα κτίριο θεωρούνται τα ίδια του τα δομικά στοιχεία – τα δάπεδα, οι τοιχοποιίες και οι οροφές, χάρη στα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένα: το σκυρόδεμα, τα τούβλα, η πέτρα και η άργιλος, εξ' αιτίας της μεγάλης πυκνότητάς τους διαθέτουν μεγάλη ειδική θερμοχωρητικότητα και συνεπώς μεγάλη ικανότητα θερμικής αποθήκευσης. Ο μηχανισμός απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας συντελείται άμεσα από το δάπεδο και τους εξωτερικούς τοίχους και εμμέσως από την οροφή καθώς υπάρχει μια ανιούσα θερμική κίνηση του αέρα, όντας ελαφρύτερος. Επομένως, όσο περισσότερη μάζα διαθέτει ένα κτίριο, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας αποθηκεύει, διατηρώντας τη θερμοκρασία του χώρου σταθερή για περισσότερες ώρες, περιορίζοντας τη λειτουργία της βοηθητικής θέρμανσης το χειμώνα αλλά και της χρήσης κλιματισμού το καλοκαίρι. Ωστόσο, το καλοκαίρι που ελλοχεύει κίνδυνος υπερθέρμανσης των εσωτερικών χώρων, απαραίτητη κρίνεται η πρόβλεψη φυσικού δροσισμού με κατάλληλα ανοίγματα καθώς και η σκίαση των ανοιγμάτων του.

- ✓ Θερμομόνωση – θερμική προστασία: για τον έλεγχο της ροής θερμότητας διαμέσου του κελύφους, η οποία εξαρτάται από τη **θερμοκρασιακή διαφορά** μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος καθώς επίσης και τη **θερμική αντίσταση των υλικών** από τα οποία είναι κατασκευασμένο το κέλυφος. Ανεπαρκής ή άστοχη θερμομόνωση είναι δυνατό να επιφέρει τα εκ διαμέτρου αντίθετα αποτελέσματα, με συνέπεια τις απώλειες θερμότητας από το εσωτερικό του κτιρίου προς το εξωτερικό περιβάλλον το χειμώνα και υπέρμετρα θερμικά κέρδη κατά τους θερινούς μήνες. Η πιο κοινή μέθοδος για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών είναι η προσθήκη θερμομόνωσης, το «ντύσιμο» δηλαδή με υλικά μεγάλης θερμικής αντίστασης.

Με τον όρο **θερμική αντίσταση R** ($m^2 \text{ } ^\circ C/W$) ενός υλικού εννοούμε το μέγεθος που εκφράζει τη δυσκολία με την οποία διαδίδεται η θερμότητα σε ένα υλικό. Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική αντίσταση είναι το πάχος **d** του υλικού, το ρευστό που το περιβάλλει (ο αέρας για παράδειγμα) καθώς επίσης και η θερμική αγωγιμότητα **k** .

Η **θερμική αγωγιμότητα k** (W/m^οC) είναι ιδιότητα κάθε υλικού και ισούται με τη ροή θερμότητας δια μέσου της μάζας του υλικού ανά μονάδα πάχους και διαφοράς θερμοκρασίας. Η σχέση που συνδέει τα παραπάνω δύο μεγέθη εκφράζεται μαθηματικά ως: $R = k/d$

Το αντίστροφο της θερμικής αντίστασης είναι ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας U (W/m² °C) εκφράζει δε τον τρόπο με τον οποίο το κτίριο διαμέσου του κελύφους ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον του.

Η σχέση που δίνει την τιμή του συντελεστή για ένα σύνθετο δομικό στοιχείο είναι η ακόλουθη:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} + \sum d_j k_j} \quad [1]$$

h_i, h_o : συντελεστές θερμικής μεταφοράς του αέρα στο εσωτερικό και στο εξωτερικό του κτιρίου αντίστοιχα

k_j : συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού

d_j : πάχος του υλικού

Η επιτυχής θερμομόνωση ενός δομικού στοιχείου έγκειται στη μείωση του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U , επομένως στον περιορισμό της διαφυγής θερμότητας διαμέσου του στοιχείου αυτού. Ακολουθεί πίνακας με τις τυπικές τιμές U για συνήθη δομικά υλικά:

Πίνακας 1.2.2.1: Τυπικές τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας υφιστάμενων διαφανών και αδιαφανών δομικών στοιχείων, (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010)

Τύπος υαλοπίνακα	U_g
	[W/(m ² K)]
Μονός υαλοπίνακας	5,70
Δίδυμος υαλοπίνακας με διάκενο αέρα 6 mm	3,30
Δίδυμος υαλοπίνακας με διάκενο αέρα 12 mm	2,80
Δίδυμος υαλοπίνακας με διάκενο 6mm αέρα και με επίστρωση μεμβράνης χαμηλής εκπεμπτικότητας ($\epsilon = 0,10$)	2,60
Δίδυμος υαλοπίνακας με διάκενο 12mm αέρα και με επίστρωση μεμβράνης χαμηλής εκπεμπτικότητας ($\epsilon = 0,10$)	1,80

Τύπος πλαισίου	U _f (W/(m ² K))
Μεταλλικό πλαίσιο χωρίς θερμοδιακοπή	7,00
Μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή 12 mm	3,50
Μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή 24 mm	2,80
Συνθετικό πλαίσιο	2,80
Ξύλινο πλαίσιο	2,20

Περιγραφή στοιχείου	Χωρίς θερμομονωτική προστασία			Με ανεπαρκή θερμομονωτική προστασία κατά Κ.Θ.Κ.		
	Σε επαφή με αέρα	Σε επαφή με μη θερμαινόμεν. χώρο	Σε επαφή με έδαφος	Σε επαφή με αέρα	Σε επαφή με μη θερμαινόμεν. χώρο	Σε επαφή με έδαφος
	[W/(m ² ·K)]	[W/(m ² ·K)]	[W/(m ² ·K)]	[W/(m ² ·K)]	[W/(m ² ·K)]	[W/(m ² ·K)]
Στοιχείο φέροντος οργανισμού οπλισμένου σκυροδέματος (πάχους μικρότερου των 80 cm)						
Ανεπίχριστο από τη μία ή τις δύο όψεις.	3,65	2,75	4,30	1,00	0,90	1,05
Επιχρισμένο και από τις δύο όψεις.	3,40	2,60	–	1,00	0,90	–
Επενδεδυμένο με απλή ή διακοσμητική οπτοπλινθοδομή.	2,45	2,00	2,90	0,90	0,85	0,95
Επενδεδυμένο με αργολιθοδομή.	2,90	2,30	3,25	0,90	0,85	0,95
Επενδεδυμένο με μαρμάρινες πλάκες.	3,50	2,05	4,00	1,00	0,90	1,05
Επενδεδυμένο με γυψοσανίδα, τσιμεντοσανίδα, ξυλοσανίδα ή άλλες πλάκες.	2,05	1,75	2,25	0,80	0,75	0,85

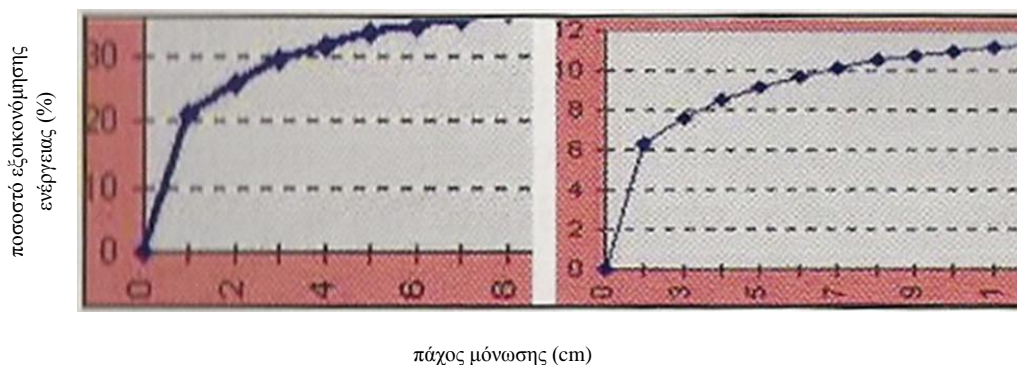
Οπτοπλινθοδομή, φέρουσα ή πλήρωσης (με ή χωρίς κλειστό διάκενο αέρος)						
Μπατική ή δικέλυφη δρομική οπτοπλινθοδομή						
Ανεπίχριστη από τη μία ή τις δύο όψεις.	2,30	1,90	2,55	0,85	0,80	0,90
Επιχρισμένη και από τις δύο όψεις.	2,20	1,85	–	0,85	0,80	–
Επενδεδυμένη με διακοσμητική οπτοπλινθοδομή.	1,90	1,60	2,05	0,80	0,75	0,85
Επενδεδυμένη με αργολιθοδομή.	2,10	1,75	2,25	0,80	0,75	0,85
Επενδεδυμένη με μαρμάρινες πλάκες.	2,25	1,85	2,45	0,85	0,80	0,85
Επενδεδυμένη με γυψοσανίδα, τσιμεντοσανίδα, ξυλοσανίδα ή άλλες πλάκες.	1,55	1,35	1,65	0,70	0,70	0,75

Δρομική οπτοπλινθοδομή						
Ανεπίχριστη από τη μία ή τις δύο όψεις.	3,25	2,50	3,75	0,95	0,90	1,00
Επιχρισμένη και από τις δύο όψεις.	3,05	2,40	–	0,95	0,85	–
Επενδεδυμένη με διακοσμητική οπτοπλινθοδομή.	2,50	2,00	2,75	0,85	0,80	0,90
Επενδεδυμένη με αργολιθοδομή.	2,80	2,25	3,20	0,90	0,85	0,95
Επενδεδυμένη με μαρμάρινες πλάκες.	3,10	2,40	3,55	0,95	0,85	1,00
Επενδεδυμένη με γυψοσανίδα, τσιμεντοσανίδα, ξυλοσανίδα ή άλλες πλάκες.	1,90	1,65	2,05	0,80	0,75	0,85

άλλες πλάκες.						
Αργολιθοδομή						
Ανεπίχριστη από τη μία ή τις δύο όψεις.	4,25	3,10	5,00	1,05	0,95	1,10
Επιχρισμένη και από τις δύο όψεις.	3,85	2,85	–	1,00	0,95	–
Επενδεδυμένη με διακοσμητική οπτοπλινθοδομή.	2,85	2,30	3,25	0,90	0,85	0,95
Επενδεδυμένη με μαρμάρινες πλάκες.	4,10	3,00	4,95	1,00	0,95	1,05
Επενδεδυμένη με γυψοσανίδα, τσιμεντοσανίδα, ξυλοσανίδα ή άλλες πλάκες.	2,30	1,95	2,60	0,85	0,80	0,90

Η πιο κοινή μέθοδος για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών είναι η προσθήκη κατάλληλης θερμομόνωσης, υλικών δηλαδή με μεγάλη θερμική αντίσταση, στο κέλυφος. Με τον τρόπο αυτόν εξασφαλίζεται μεγαλύτερη θερμική άνεση στο εσωτερικό του κτιρίου, ενώ συγχρόνως περιορίζονται τα προβλήματα εμφάνισης υγρασίας από συμπύκνωση υδρατμών στις επιφάνειες του κτιρίου. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται σε περιπτώσεις ύπαρξης θερμογεφυρών από αστοχία θερμομόνωσης, όπου στοιχεία του κελύφους εμφανίζουν τοπικά μεγάλη θερμική διαπερατότητα και συνεπώς υφίσταται έντονη τοπική ροή θερμότητας από το κτίριο προς το περιβάλλον, εξ' αιτίας της απότομης πτώσης της θερμοκρασίας της επιφάνειας. Μια σωστή θερμομόνωση δύναται να αυξήσει μεν το κατασκευαστικό κόστος ενός κτιρίου, ωστόσο όμως μακροπρόθεσμα μειώνει τα λειτουργικά έξοδά του, χάρη στην εξοικονόμηση ενέργειας και τη διατήρηση της καλής κατάστασης των δομικών του στοιχείων. Παράλληλα, επιτυγχάνει διατήρηση των θερμικών ηλιακών κερδών επί μακρόν στο εσωτερικό του κτιρίου.

Η τοποθέτηση της θερμομόνωσης θα πρέπει να γίνεται ομοιόμορφα και με προσοχή προς την αποφυγή θερμογεφυρών. Ταυτόχρονα, επιλογή του υλικού και της θέσης –εσωτερική, εξωτερική- υπαγορεύεται από τη στρατηγική θέρμανσης και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του κτιρίου (ωράριο λειτουργίας, θερμική μάζα, ηλιακά κέρδη). Τέλος το πάχος του μονωτικού υλικού θα πρέπει να συναξιολογείται όχι μόνο με τα ενεργειακά οφέλη αλλά και με το κόστος του υλικού. Εξ' άλλου τα ενεργειακά κέρδη από την τοποθέτηση υλικού δεν είναι ευθέως ανάλογα με το πάχος του, καθώς από μια τιμή πάχους και άνω, η εξοικονομούμενη ενέργεια είναι ασήμαντη (ΔΙΠΕ, 2009).



Εικόνα 1.2.2.1: Εξοικονόμηση ενέργειας % λόγω αύξησης του πάχους της μόνωσης σε cm σε πλευρικό τοίχο (αριστερά) και στην οροφή (δεξιά), (ΔΙΠΕ, 2009)

Από τον Κανονισμό Θερμομόνωσης ακόμη με το προεδρικό διάταγμα 1-6/4-7/1979 αλλά και με τον αναθεωρημένο σημερινό Κ.Εν.Α.Κ. βάσει του Φ.Ε.Κ. 407/9-4-2010, υπαγορεύεται αυστηρά η αυξημένη θερμομονωτική ικανότητα του κτιρίου με παρεμβάσεις στους εξωτερικούς τοίχους, το δώμα και το δάπεδο, όταν αυτό συνορεύει με μη θερμαινόμενους χώρους (υπόγειο) ή με τον εξωτερικό αέρα (πυλωτή) ή ακόμη και σε εσωτερικά δομικά στοιχεία που συνορεύουν με μη θερμαινόμενους χώρους (αποθήκες, κλειστά δωμάτια).

Θερμομόνωση εξωτερικών τοίχων: επιτυγχάνεται με δύο τρόπους:

A) με χρήση θερμομονωτικών συμπαγών δομικών υλικών (θερμομονωτικά τούβλα, thermoblock, monoblock) τα οποία είναι πορώδη με μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Ο παγιδευμένος αέρας στον πολύ μεγάλο αριθμο κοιλοτήτων στο εσωτερικό του υλικού αυξάνει τη μονωτική ικανότητα. Είναι δε, ο πλέον ενδεικνυόμενος τύπος για τα Μεσογειακά κλίματα. Με κατάλληλο μονωτικό επίχρισμα, οι ιδιότητες του υλικού βελτιώνονται.

B) με χρήση συμβατικών δομικών υλικών (τούβλων, τσιμέντου) και ενός στρώματος μονωτικού (συνηθέστερα εξηλασμένης ή διογκωμένης πολυστερίνης, υαλοβάμβακα ή μονωτικού με μεταλλικές ή φυτικές ίνες). Ο τοίχος στην περίπτωση αυτή περιλαμβάνει ένα εξωτερικό μονωτικό στρώμα, το οποίο εμποδίζει τη διέλευση της θερμότητας από ή προς το εξωτερικό περιβάλλον και ένα στρώμα με μεγάλη θερμοχωρητικότητα (τούβλα), το οποίο χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της θερμότητας (θερμική μάζα). Εναλλακτικά, η θερμομόνωση τοποθετείται ανάμεσα σε δύο στρώματα από υλικό με μεγάλη θερμοχωρητικότητα (οπτοπλινθοδομή), ενώ σε ορισμένες

ειδικές περιπτώσεις όπου από τη χρήση του κτιρίου επιβάλλεται η ταχεία θέρμανση ή ψύξη του εσωτερικού του χώρου για περιορισμένο χρονικό διάστημα (κινηματογράφοι, εκκλησίες, ΔΙΠΕ, 2009, σ.54) συνίσταται η τοποθέτηση της μόνωσης στο εσωτερικό της θερμικής μάζας ώστε να μην αποθηκεύεται η θερμότητα στα τοιχώματα, αλλά να αποδίδεται απευθείας στο χώρο. Μια ακόμη παραλλαγή είναι ανάμεσα σε δύο στρώματα από τούβλα να υπάρχει μόνωση και στρώμα αέρα. Για να είναι αποδοτική μια τέτοια πρακτική θα πρέπει το μονωτικό να τοποθετείται στην εξωτερική επιφάνεια του εσωτερικού τοίχου, γιατί σε αντίθετη περίπτωση δεν παρέχει καμία προστασία. Τέλος, για υγρά και θερμά κλίματα, προκειμένου να αποφεύγεται εμφάνιση υγρασίας στην τοιχοποιία λόγω υπερθέρμανσης κατά τη θερινή περίοδο, προτείνεται η αεριζόμενη πρόσοψη. Στο κενό αέρα ανάμεσα στους δύο τοίχους και στη μόνωση κυκλοφορεί αέρας ο οποίος ανανεώνεται.

- ✓ Χρώμα και υφή εξωτερικών επιφανειών: η μέγιστη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας το καλοκαίρι συμβαίνει στα δώματα, με αποτέλεσμα οι τελευταίοι όροφοι να είναι και οι πλέον επιβαρυνμένοι. Συνιστώνται επομένως δώματα με ανοιχτό χρώμα, ανακλαστικές επιφάνειες ή φύτευση (φυτεμένα δώματα) καθώς επίσης και εξωτερικοί τοίχοι δυτικού προσανατολισμού ανοιχτού χρώματος ή καλυμμένοι με αναρριχητικά φυτά ή «vertical gardens» (Bass, Liu, Baskaran, 2003, σ.5).

Μια εξίσου διαδεδομένη πρακτική αποτελούν και τα «φράγματα ακτινοβολίας» (ΔΙΠΕ, 2009, σ. 55). Πρόκειται για λεπτά μεταλλικά φύλλα, επικαλυπτόμενα εκατέρωθεν ή στη μία μόνο πλευρά τους από στρώμα αλουμινίου υψηλής ανακλαστικότητας. Συνηθέστερα, τοποθετούνται κάτω από τη στέγη και λειτουργούν ως ανακλαστικός καθρέπτης της θερμικής ακτινοβολίας. Τα μονωτικά στοιχεία αυτά έχουν τεράστια αξία σε περιπτώσεις που ο δροσισμός του κτιρίου είναι πιο σημαντικός από τη θέρμανσή του. Τότε, ο συνδυασμός ενός φράγματος ακτινοβολίας και ενός μικρού πάχους στρώματος θερμομόνωσης στην οροφή ή στο δώμα, μπορεί να αντικαταστήσει το συμβατικό στρώμα μόνωσης μεγάλου πάχους. Έχει εκτιμηθεί ότι ένα τέτοιο ανακλαστικό σύστημα ισοδυναμεί με συμβατική μόνωση πάχους 5cm (ΔΙΠΕ, 2009, σ. 55). Η απόδοση του συστήματος εξαρτάται από τον αερισμό της στέγης καθώς απάγεται η πλεονάζουσα θερμότητα στο εξωτερικό του κτιρίου.

1.3 Επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας

Οι επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα κτίριο δύνανται να διασφαλισθούν αφ' ενός μεν με έναν αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και αφ' ετέρου με τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών δομικών στοιχείων και συστημάτων. Δυνατότητες επέμβασεις στο κέλυφος και στις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις ενός υφιστάμενου κτιρίου, μπορούν ανάλογα με την οικονομική αποδοτικότητα να κατηγοριοποιηθούν ως ακολούθως:

Πίνακας 1.3.1: Κατηγορίες επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια

<i>Χωρίς ειδική χρηματοδότηση ή επένδυση κεφαλαίου</i>	<i>Χαμηλού κόστους</i>	<i>Με ανακατασκευή ή εγκατάσταση συστήματος</i>
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Εφαρμόζονται σε επίπεδο νοικοκυριού ✓ Αφορούν στη συνήθη λειτουργία του κτιρίου ✓ Περιλαμβάνουν αλλαγή στη συμπεριφορά των χρηστών 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Εφ' άπαξ επεμβάσεις με κόστος το οποίο αποπληρώνεται εντός της ίδιας διαχειριστικής χρονιάς ή σε λιγότερο από δύο χρόνια 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Εφ' άπαξ επεμβάσεις με σημαντικό αρχικό κόστος. ✓ Εφαρμόζονται για μια μέση έως μακρά περίοδο αποπληρωμής ✓ Χρήζουν ειδικής οικονομοτεχνικής μελέτης

Η παρούσα διπλωματική εργασία, αποτελεί μια προσπάθεια εφαρμογής της τρίτης κατηγορίας, μέσω της εγκατάστασης ενός συστήματος ηλιακών συλλεκτών για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης κολυμβητικής δεξαμενής μέσω της εφαρμογής Retscreen.

1.3.1 Συστήματα θέρμανσης - ψύξης

Τα τεχνικά συστήματα που έχουν αναπτυχθεί για την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας για θέρμανση και ψύξη των κτιρίων έχουν διακρίνονται σε σε τρεις βασικές κατηγορίες, ανάλογα με το εάν παρεμβάλλεται ή όχι μηχανολογικό σύστημα:

- Παθητικά συστήματα: πρόκειται για εκείνα που δεν κάνουν χρήση μηχανικών μέσων για τη μεταφορά της θερμότητας στο χώρο. Για την εκμετάλλευση κυρίως της ηλιακής ακτινοβολίας βασίζονται στη φυσική ροή της θερμικής ενέργειας, στις φυσικές ιδιότητες των υλικών του κτιρίου και χρησιμοποιούν ως αποθήκη της θερμότητας τα δομικά στοιχεία του κελύφους (δάπεδα, τοίχοι, οροφές, δώματα).
- Ενεργητικά συστήματα: πρόκειται για εκείνα που χρησιμοποιούν μηχανικά μέσα, απλά ή συνθετότερα και προϋποθέτουν πιο πολύπλοκους μηχανισμούς συλλογής, μεταφοράς και αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας, που προήλθε από τη δέσμευση μιας πρωταρχικής μορφής ανανεώσιμης ενέργειας. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν και οι ηλιακοί συλλέκτες που θερμαίνουν νερό ή αέρα, το οποίο κατόπιν διοχετεύεται στο σύστημα διανομής της θερμότητας στο χώρο, με τη μεσολάβηση ενός εναλλάκτη θερμότητας, καθώς επίσης και η γεωθερμία, μορφές με τις οποίες ασχολείται η παρούσα διπλωματική εργασία.
- Υβριδικά συστήματα: συνδυάζουν τη φυσική και μηχανική ροή της θερμότητας. Βασίζονται στην παθητική μεν εκμετάλλευση της πρωταρχικής ανανεώσιμης ενέργειας, ωστόσο ταυτόχρονα παρεμβάλλουν μηχανικά συστήματα χαμηλής κατανάλωσης και απλής κατασκευής. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η προσθήκη ανεμιστήρα σε ένα παθητικό σύστημα, ώστε να υποβοηθήσει τη μεταφορά θερμότητας στους πίσω χώρους ενός κτιρίου ή ενός θερμοστάτη, ώστε να υπάρχει έλεγχος της θερμότητας που αποδίδει το εκάστοτε παθητικό σύστημα.

1.3.2 Παθητικά ηλιακά συστήματα (Π.Η.Σ.)

1.3.2.1 Βασικές αρχές λειτουργίας των παθητικών ηλιακών συστημάτων

Η χαρακτηριστική ιδιότητα των παθητικών ηλιακών συστημάτων να μειώνουν σημαντικά το ενεργειακό κόστος για τη θέρμανση των κτιρίων και να βελτιώνουν ως εκ τούτου τα επίπεδα της προσφερόμενης θερμικής άνεσης, είναι που καθιστά τη χρήση τους ιδιαίτερα διαδεδομένη. Ο κύριος μηχανισμός λειτουργίας τους, θα μπορούσαμε να πούμε ότι συνοψίζεται στους ακόλουθους τρεις άξονες:

- a. Συλλογή της ηλιακής ενέργειας και μετατροπή της σε θερμότητα
- b. Αποθήκευση και διατήρηση της θερμικής ενέργειας στο κτίριο χάρη στη θερμοχωρητικότητα των υλικών

c. Διανομή της θερμότητας

Η εφαρμογή των Π.Η.Σ. προϋποθέτει ένα κτίριο εναρμονισμένο με τις βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού που αναφέρθηκαν πιο πάνω, ιδίως σε ό,τι αφορά τον ορθό προσανατολισμό και την εφαρμογή κατάλληλης θερμομόνωσης.

a. Συλλογή της ηλιακής ενέργειας:

Προσπίπτοντας η ηλιακή ακτινοβολία σε έναν υαλοπίνακα ανοίγματος, κατά ένα ποσοστό της ανακλάται προς το εξωτερικό περιβάλλον (ρ), κατά ένα άλλο απορροφάται (α) και κατά ένα άλλο διαπερνά το γυαλί (g) και εισέρχεται στο εσωτερικό. Το τελευταίο, δεσμεύεται ως ορατό φως (μικρού μήκους κύματος της τάξης των 0.4-0.8 μm) από τα διάφορα υλικά και αυξάνει την εσωτερική τους θερμοκρασία, με αποτέλεσμα τα υλικά αυτά να εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία (μεγάλου μήκους κύματος), τόση όση αντιστοιχεί στη θερμοκρασία τους. Ωστόσο, ο υαλοπίνακας δεν είναι διαπερατός από τη μεγάλου μήκους θερμική ακτινοβολία. Συνεπώς η θερμότητα αυτή εγκλωβίζεται στον εσωτερικό χώρο, ο οποίος λειτουργεί ως άν θερμοκήπιο, απορροφάται από τα διάφορα δομικά στοιχεία ή τις διάφορες «αποθήκες θερμότητας» και πλέον μεταδίδεται στο εσωτερικό με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία, διαμορφώνοντας το θερμικό ισοζύγιο του χώρου. Αυτή είναι και η βασική αρχή λειτουργίας του **ηλιακού χώρου** ή **θερμοκηπίου** (σέρα), το οποίο είναι ένας νότια προσανατολισμένος χώρος, προσαρτημένος στο κτίριο, με μεγάλο λόγο διαφανών προς αδιαφανή στοιχεία.

Για τα παραπάνω ποσοστά ισχύει προφανώς: $g + \rho + \alpha = 1$ [2]

Ως εκ τούτου οι βασικές παράμετροι που υπεισέρχονται εδώ είναι οι ακόλουθες:

- ο προσανατολισμός, το μέγεθος και η κλίση των ανοιγμάτων
- η διαπερατότητα των υλικών

Τα υλικά ανάλογα με το πόσο διαπερατά στην ηλιακή ακτινοβολία είναι ή όχι διακρίνονται σε **διαφανή** και **αδιαφανή** αντιστοίχως. Για να είναι κατάλληλα για ηλιοσυλλογή, θα πρέπει να εμπίπτουν στην κατηγορία των διαφανών. Τα πιο διαδεδομένα είναι τα ακόλουθα:

- Υαλοπίνακες: το ποσόν της ηλιακής ακτινοβολίας που διαπερνά έναν υαλοπίνακα και συνεπώς τα ηλιακά θερμικά κέρδη, εξαρτάται από τα οπτικά του χαρακτηριστικά, δηλαδή το πάχος και τα στρώματά του, τον προσανατολισμό, καθώς επίσης και τη θέση και το μέγεθος των ανοιγμάτων. Το κοινό γυαλί έχει διαπερατότητα στην ηλιακή ακτινοβολία 0,78-0,91,

ανάλογα με το πάχος του. Η χρήση διπλών υαλοπινάκων μειώνει τη διαπερατότητα του συστήματος και άρα την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία που θα δεχθούν τα υλικά στο εσωτερικό, με αποτέλεσμα την περιορισμένη αύξηση στη θερμοκρασία τους. Ωστόσο, η πολύ μικρή διαπερατότητα και ο χαμηλός συντελεστής εκπομπής, δεν αφήνει την έστω και μειωμένη θερμική ενέργεια να διαφύγει από το κτίριο, βελτιώνοντας έτσι –μειώνοντας εν τω προκειμένω- το συντελεστή θερμοπερατότητας. Ανακλαστικοί και απορροφητικοί υαλοπίνακες με υψηλό συντελεστή ανακλαστικότητας και απορροφητικότητας αντίστοιχα, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με σύνεση στα Π.Η.Σ. καθώς μειώνουν το ποσοστό της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο και επομένως το ηλιακό κέρδος. Εν γένει η επιλογή του κατάλληλου υαλοπίνακα εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες στην περιοχή καθώς επίσης και τις θερμικές και ψυκτικές απαιτήσεις των χρηστών. Για παράδειγμα σε θερμά κλίματα και για κτίρια με μεγάλα εσωτερικά κέρδη, είναι προτιμητέα η χρήση υαλοπινάκων μικρής σχετικά διαπερατότητας κυρίως σε επιφάνειες με δυτικό προσανατολισμό. Εν γένει, το 90% περίπου της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να δεσμευτεί όταν τα ανοίγματα προσανατολίζονται νότια με απόκλιση $\pm 30^\circ$ (συστήματα άμεσου κέρδους).

Σε ό,τι αφορά τη θέση των ανοιγμάτων, προκειμένου να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη διανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του κτιρίου, το βάθος του χώρου (W) επιβάλλεται να είναι μικρότερο του γινομένου του ύψους του ανοίγματος (H) –μετρούμενου από το δάπεδο- επί το συντελεστή 2,5:

$$H * 2.5 < W$$

Το μέγεθος των ανοιγμάτων εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος στο οποίο βρίσκεται το κτίριο και είναι αντιστρόφως ανάλογο της μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας του χειμώνα. Για παράδειγμα, για το γεωγραφικό πλάτος της Ελλάδας από $32^\circ - 40^\circ$ ισχύει:

Πίνακας 1.3.2.1.1: Απαιτούμενο μέγεθος ανοιγμάτων ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία για χειμερινή περίοδο και γεωγραφικό πλάτος 32° – 40° , (Ξενάκης, 2010)

Μέση εξωτερική θερμοκρασία χειμών (° C)	Εμβαδό ανοίγματος για επιφάνεια εσωτερικού χώρου 1m ²
-4	0.21-0.33
1.5	0.16-0.25
7.2	0.11-0.17

- Τα σκληρά πλαστικά: ανήκουν στα θερμοπλαστικά πολυμερή. Ανάλογα με την επεξεργασία και τη χημική τους σύσταση διακρίνονται σε ακρυλικά, πολυεστερικά, πολυκαρβονικά και σε προϊόντα πολυαιθυλενίου. Εμφανίζουν μεγάλη αντοχή σε μηχανική κρούση και έχουν μικρότερο βάρος από το κοινό γυαλί. Ωστόσο, συγκριτικά με το κοινό γυαλί το μειονέκτημά τους είναι ότι εμφανίζουν μικρότερα ηλιακά θερμικά κέρδη καθώς επίσης και μικρότερη αντίσταση στη φωτιά.

Τα **πολυκαρβονικά** (polycarbonate- PC) είναι σκληρά διαφανή, με αντίσταση στη φωτιά, τα οποία χαρακτηρίζονται από ευκολία στη διεργασία τους να σχηματίζουν καμπύλες μορφές. Ο συντελεστής της θερμικής τους αγωγιμότητας κυμαίνεται από 0,190 έως 0,220 W/mK και η διαπερατότητα στο ορατό φως κυμαίνεται από 0,40 έως 0,80, ανάλογα με το χρώμα τους. Είναι σχετικά ελαφριά και χαρακτηρίζονται από χαμηλή αντοχή σε ρηγμάτωση, η οποία ωστόσο μπορεί να περιοριστεί με κατάλληλη επεξεργασία. (Legrand & Bendler, 2000).

Τα **πολυακρυλικά** (πλεξιγκλάς) ανήκουν επίσης στα θερμοπλαστικά πολυμερή. Πρόκειται για σκληρά, διαφανή και αρκετά ελαφρά υλικά. Η διαπερατότητά τους στο ορατό φως είναι της τάξης του 0,92 και η θερμική τους αγωγιμότητα περί το 0,200 W/mK. Έμφανίζουν μεγαλύτερη σταθερότητα στους περιβαλλοντικούς παράγοντες σε σχέση με τα πολυκαρβονικά και μικρή αντίσταση σε διαλύτες και σε αρκετές χημικές ενώσεις (Mc Keen, 2008).

Τα **πολυεστερικά** χαρακτηρίζονται από ανθεκτικότητα στις κλιματικές μεταβολές και στη γήρανση. Εμφανίζουν καλή συμπεριφορά στην υπεριώδη ακτινοβολία και δεν επηρεάζονται σε θερμοκρασιακό εύρος από -40° C έως

100 ° C. Όταν ενισχύονται με υαλοϊνες (fiberglass) αυξάνει η αντοχή τους, μειώνεται δε η διαύγειά τους.

- Η διαφανής μόνωση: πρόκειται για ημιδιαφανές θερμομονωτικό υλικό, δομής κυψελωτής, κυρίως καρβονικής προέλευσης. Λόγω της δομής του επιτρέπει στην ηλιακή ακτινοβολία και στο φυσικό φως να εισέλθει στο εσωτερικό του χώρου, παράλληλα όμως μειώνει τις θερμικές απώλειες. Αναλόγως με τη δομή του θερμομονωτικού, την τοποθέτηση των κυψελών σε σχέση με τη διατομή του τοίχου, η διαπερατότητά του στο ορατό φως κυμαίνεται από 0,73 έως 0,82 με αντίστοιχες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας από 0,800 έως 1,100 W/mK (Platzer & Goetzberger, 1996; Kerschberger & Binder, 2006).

b. Αποθήκευση και διατήρηση της θερμότητας

Προκειμένου να χρησιμεύουν στην αποθήκευση θερμότητας τα υλικά θα πρέπει να διαθέτουν επαρκή θερμοχωρητικότητα.

Ως θερμοχωρητικότητα ορίζεται το γινόμενο του φαινόμενου ειδικού βάρους (ρ : kg/m³) με την ειδική θερμοχωρητικότητα (C_p : J/(kg K)). Υλικά με μεγάλη ικανότητα θερμικής αποθήκευσης είναι εκείνα που διαθέτουν ικανή θερμική μάζα, της τάξης του 1,2MJ/m³K και άνω. (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., 2071-2/2010)

Συνήθως τέτοια είναι τα οικοδομικά υλικά του φέροντα οργανισμού, των εξωτερικών και εσωτερικών τοιχοποιιών καθώς και τα υλικά των επενδύσεων των τοιχοποιιών και των δαπέδων (σκυρόδεμα, πέτρα, ωμόπλινθοι, οπτόπλινθοι συμπαγείς ή διάτρητοι, κεραμικά πλακίδια), αλλά και το νερό σε δεξαμενές. Παράλληλα, μια νέα τάση είναι και τα υλικά αλλαγής φάσης (Change Phase Materials, PCM), όπως για παράδειγμα τα εύτηκτα άλατα ή το άλας του Glauber, τα οποία τοποθετούνται μέσα σε επιλεγμένες δεξαμενές αποθήκευσης θερμότητας. Καθώς έχουν την ιδιότητα να αλλάζουν φάση-από τη στερεά στην υγρή κατάσταση- αποθηκεύουν θερμότητα, την οποία όταν θα κληθούν να επιστρέψουν στην αρχική τους φάση, θα αποδώσουν στο περιβάλλον ως λανθάνουσα.

Το παρόν εδάφιο εξηγεί γιατί η θερμομονώση που διαθέτει παρά ελάχιστη θερμοχωρητικότητα, δεν προσφέρει καμία δυνατότητα αποθήκευσης θερμότητας εάν τοποθετηθεί στην εσωτερική παρειά των δομικών στοιχείων, στην περίπτωση των Π.Η.Σ. Για την περίπτωση ωστόσο κτιρίων με εμφανή λιθοδομή, η οποία διαθέτει μεγάλη θερμοχωρητικότητα, η θερμομόνωση τοποθετείται εσωτερικά, όπως

υπαγορεύει η αισθητική του προβλήματος. Απαιτούνται επομένως στοιχεία μεγάλης θερμοχωρητικότητας στο εσωτερικό του χώρου (στις εσωτερικές τοιχοποιίες, στα δάπεδα). Διαφορετικά η λιθοδομή θα πρέπει να μετατραπεί σε τοιχοποιία με πυρήνα: το υλικό της εσωτερικής τοιχοποιίας θα πρέπει να έχει αυξημένη θερμοχωρητικότητα (τούβλα), ενώ η θερμομόνωση θα τοποθετείται στο μεσαίο διάκενο.

Για τη διατήρηση της θερμότητας θα πρέπει να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες, οι οποίες οφείλονται κυρίως στη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην εσωτερική και εξωτερική επιφάνεια του κελύφους, στη θερμική αντίσταση των υλικών του κελύφους, καθώς και στην ακτινοβολία των τοίχων.

c. Διανομή θερμότητας

Ιδανικά το κτίριο θα όφειλε να παρέχει τη θερμότητα που συλλέγει και αποθηκεύει απευθείας στους χώρους, δίχως να απαιτείται σύστημα διανομής. Ωστόσο, αυτό δεν είναι πάντοτε εφικτό. Εάν για παράδειγμα υπάρχουν βορεινά δωμάτια τα οποία θα πρέπει να λάβουν και αυτά μερίδιο από το ηλιακό κέρδος, η θερμότητα από τους νότια προσανατολισμένους χώρους θα πρέπει να φτάσει ως εκεί υποβοηθούμενη με μηχανικά μέσα.

Στη φυσική διανομή θερμότητας, η αποθηκευμένη θερμότητα μεταδίδεται με μεταφορά και ακτινοβολία. Η μεταφορά συμβαίνει όταν η θερμοκρασία της επιφάνειας του αποθηκευτικού μέσου είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του αέρα που περιβάλλει το υλικό, ή όταν υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας στον αέρα μεταξύ δύο ζωνών.

Όταν λοιπόν η εσωτερική παρειά ενός τοίχου αποκτήσει υψηλότερη θερμοκρασία από αυτή του γειτονικού χώρου, ο αέρας θερμαίνεται με μεταφορά. Παράλληλα οι γειτονικές επιφάνειες προσλαμβάνουν την εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία προκαλώντας έτσι διανομή θερμότητας σε χώρους του κτιρίου που δεν μπορούν να επωφεληθούν από άμεσα ηλιακά κέρδη. Συνεπώς σε θερμά κλίματα όπου η ανάγκη για θέρμανση περιορίζεται μόνο τη νύχτα, θα μπορούσε να παραμείνει χωρίς μόνωση, ώστε λόγω μεγάλης θερμικής αδράνειας, να αποθηκεύει τη θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας και να την αποδίδει πίσω τη νύχτα.

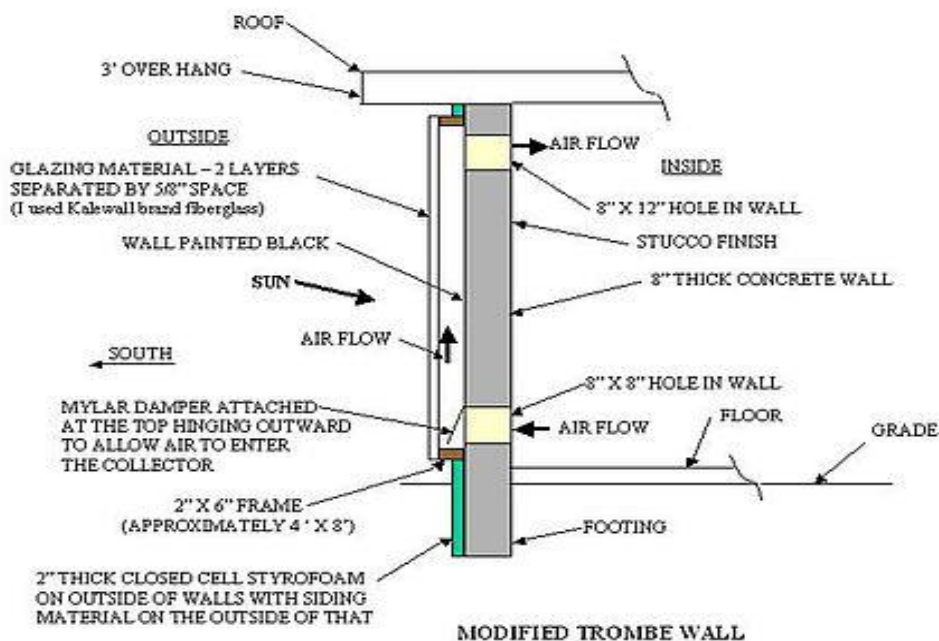
Εναλλακτικό τρόπο αποτελεί η θερμοκυκλοφορία. Καθώς απελευθερώνεται η αποθηκευμένη θερμότητα, θερμαίνει και τον περιβάλλοντα αέρα, ο οποίος όντας θερμότερος και άρα ελαφρύτερος, αποκτά μια ανοδική κίνηση. Όταν φτάσει σε μια

ψυχρότερη περιοχή, αποβάλλει τη θερμότητά του αυτή και ψύχεται. Ο ψυχρότερος αέρας, ως βαρύτερος, κατεβαίνει και συνεπώς υφίσταται ένας κύκλος.

Όταν όμως απαιτείται μεταφορά σημαντικών ποσοτήτων θερμότητας, θα πρέπει να επιστρατεύονται κατάλληλα μηχανικά μέσα, όπως για παράδειγμα οι ανεμιστήρες, εάν το αποθηκευτικό μέσο είναι ο αέρας ή οι αντλίες εάν είναι κάποιο υγρό. Ωστόσο, θα πρέπει να υπάρχει κατάλληλη δεξαμενή θερμότητας στο κτίριο για αυτή την ετεροχρονισμένη διανομή.

1.3.2.2 Τοίχος Trombe - Michele

Πρόκειται για ένα σύστημα έμμεσου κέρδους. Ένας τοίχος δηλαδή θερμικής αποθήκευσης, ο οποίος διαθέτει ένα κενό μεταξύ της μάζας του και του υαλοπίνακα και θυρίδες σε όλο το επάνω και κάτω μέρος του μήκους του, ούτως ώστε να επιτρέπεται η κίνηση του αέρα. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, την ημέρα, ο θερμός αέρας μεταξύ τοίχου και υαλοπίνακα κινείται προς τα πάνω και εισέρχεται στο χώρο από την επάνω θυρίδα, ενώ ο ψυχρότερος αέρας από τον εσωτερικό χώρο περνά από την κάτω θυρίδα και αντικαθιστά έτσι το κενό που δημιουργείται μεταξύ τοίχου και υαλοπίνακα. Τη χειμερινή νύχτα, η θέρμανση του χώρου γίνεται με την ακτινοβολία της θερμότητας που αποθηκεύτηκε στον τοίχο, για αυτό το λόγο οι θυρίδες αερισμού πρέπει να κλείνουν. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο τοίχος να σκιάζεται από σταθερό ή κινούμενο σκίαστρο και το πάνω μέρος του υαλοστασίου να ανοίγει ούτως ώστε να απομακρύνεται ο θερμός αέρας.



Εικόνα 1.3.2.2.1: Τομή τοίχου Trombe – Michele, (Ξενάκης, 2010)

1.3.3 Ενεργητικά ηλιακά συστήματα (Ε.Η.Σ.)

Μία από τις πιο διαδεδομένες πρακτικές σήμερα για εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση χώρων αλλά και για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης είναι αυτή των «ενεργητικών ηλιακών συστημάτων». Η ενσωμάτωσή τους στο κτίριο θα πρέπει να είναι αποτέλεσμα μελέτης και να λαμβάνονται υπ' όψιν τυχόν κωλύματα που θα μπορούσαν να μειώσουν την απόδοσή τους. Σε κάθε περίπτωση, ο εκάστοτε μελετητής θα πρέπει να λαμβάνει υπ' όψιν του τα ακόλουθα:

- Σκιασμός των ηλιακών συλλεκτών από όμορα κτίρια
- Προσανατολισμός και πλάτος των δρόμων
- Τρόπος δόμησης του κτιρίου και εξασφάλιση επαρκούς χώρου για την εγκατάστασή τους.
- Ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα, που σε ορισμένες περιπτώσεις συνοδεύεται από επικαθήσεις στα καλύμματα των συλλεκτών
- Πυκνοδότηση

Ιδιαίτερα σε μεσογειακές χώρες όπως η Ελλάδα, οι οποίες διαθέτουν πλούσιο ηλιακό δυναμικό, τέτοιου είδους συστήματα χρησιμοποιούνται κατά κόρον, τα οποία είτε αυτόνομα, είτε σε συνδυασμό με άλλα συμβατικά ή παθητικά συστήματα, δύνανται

να καλύψουν τις θερμαντικές ανάγκες του κτιρίου. Άλλα συστήματα παραγωγής και εξοικονόμησης ενέργειας

Καθώς ακόμη και στην περίπτωση των κτιρίων με βέλτιστο περιβαλλοντικό σχεδιασμό, δύσκολα αποφεύγεται παντελώς η χρήση συμβατικών συστημάτων, πάντα θα πρέπει να εξετάζεται και η δυνατότητα περεταίρω εξοικονόμησης ενέργειας, μέσω άλλων τεχνικών που παρατίθενται στη συνέχεια. Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής θέσης είναι η διερεύνηση της δυνατότητας εξασφάλισης ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης κολυμβητικής δεξαμενής μέσω ενεργητικών συστημάτων και πιο συγκεκριμένα (α) ηλιακών συστημάτων, τα οποία αναλύονται διεξοδικότερα από το δεύτερο κεφάλαιο.

1.3.3.1 Συστήματα κεντρικής θέρμανσης

Πρόκειται για τα πλέον διαδεδομένα στη χώρα μας. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν με την κυκλοφορία ζεστού νερού μέσα σε θερμαντικά στρώματα (καλοριφέρ), που μεταδίδουν τη θερμότητα στους χώρους. Ο καυστήρας που θερμαίνει το νερό, είθειςται να λειτουργεί με πετρέλαιο. Το ζεστό νερό συγκεντρώνεται στο λέβητα και στη συνέχεια μέσω του συστήματος διανομής (σωλήνες, κυκλοφορητές, βαλβίδες ανάμιξης) διοχετεύεται. Μερικά σημεία που επιδέχονται βελτίωσης σε ένα τέτοιο σύστημα είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Κατάλληλη διαστασιολόγηση και σχεδιασμός του συστήματος
- ✓ Μόνωση των σωληνώσεων διανομής
- ✓ Τακτική, τουλάχιστον ετήσια, συντήρηση του καυστήρα
- ✓ Χρήση καυστήρων φυσικού αερίου έναντι πετρελαίου
- ✓ Εγκατάσταση κεντρικού συστήματος αυτόματου ελέγχου
- ✓ Εγκατάσταση θερμοστατών χώρου
- ✓ Έλεγχος της θερμοκρασίας του νερού στο λέβητα
- ✓ Χρήση τρίοδων βαλβίδων
- ✓ Χρήση θερμοστατικών βαλβίδων στα σώματα
- ✓ Παράλληλη παραγωγή ζεστού νερού για οικιακή χρήση

Ανάλογα με το μέγεθος και το πρόγραμμα λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης καθώς και με τα απαιτούμενα ηλεκτρικά και θερμικά φορτία του κτιρίου, σε ορισμένες περιπτώσεις, ενδείκνυται η αντικατάσταση ενός συμβατικού καυστήρα πετρελαίου από ένα σύστημα συμπαραγωγής θερμότητας – ηλεκτρισμού.

Η τακτική συντήρηση και σωστή ρύθμιση του καυστήρα συντελούν στην αύξηση της απόδοσης του συστήματος θέρμανσης. Ο ανεπαρκής καθαρισμός των επιφανειών εναλλαγής θερμότητας μπορεί να προκαλέσει τη μείωση της απόδοσης του καυστήρα και του συστήματος θέρμανσης γενικότερα. Για το λόγο αυτόν συνίσταται ο τυπικός καθαρισμός όλων των επιφανειών και η αντικατάσταση των τμημάτων που έχουν υποστεί βλάβες.

Η χρήση λεβήτων συμπύκνωσης είναι συστήματα υψηλής απόδοσης. Διαθέτουν δύο εναλλάκτες θερμότητας, έναν πρωτεύοντα και έναν δευτερεύοντα, επάνω από τους οποίους διέρχονται τα καυσαέρια του καυστήρα. Καθώς αυτά περνούν πάνω από το δευτερεύοντα εναλλάκτη, συμπυκνώνονται και αποδίδουν τη θερμότητα αυτή ως λανθάνουσα, εξοικονομώντας έτσι ενέργεια και αυξάνοντας την απόδοση. Οι λέβητες συμπύκνωσης μπορούν να μειώσουν το κόστος λειτουργίας του συστήματος έως και 20%, ενώ ταυτόχρονα η εγκατάσταση και η συντήρησή τους γίνεται κατά τα γνωστά. Παράλληλα, οι χρόνιες διακυμάνσεις των θερμικών φορτίων, οδηγούν συχνά σε παύση και επανεκκίνηση της λειτουργίας του κεντρικού λέβητα, με αποτέλεσμα να πέφτει η απόδοση περί το 50%. Η λειτουργία άλλωστε του λέβητα σε θερμικά φορτία πολύ μικρότερα από τη μέγιστη θερμική του ισχύ έχει ως αποτέλεσμα την πολύ χαμηλή του απόδοση και τη μεγάλη σπατάλη καυσίμου. Σε τέτοιες περιπτώσεις προτείνεται η χρήση περισσότερων του ενός λεβήτων, με σκοπό την ομοιόμορφη κάλυψη διαφορετικών τμημάτων του κτιρίου με διαφορετικά θερμικά φορτία. Ωστόσο, απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός, ώστε να εξασφαλίζεται η επιμέρους συνεργασία όλων των λεβήτων.

1.3.3.2 Θερμικά ηλιακά συστήματα

Αναλύονται διεξοδικά στο επόμενο κεφάλαιο.

1.3.3.3 Γεωθερμία

Αναλύεται διεξοδικά στο επόμενο κεφάλαιο

1.3.3.4 Συμπαράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (cogeneration)

Η συμπαράγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας από την ίδια πρωτογενή πηγή ενέργειας (π.χ. φυσικό αέριο) παρέχει μια εναλλακτική λύση στην κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρισμό, θέρμανση και ζεστό νερό. Ειδικά σε μεγάλα κτίρια (ξενοδοχεία, νοσοκομεία, βιομηχανία) είναι εύκολη και εφικτή η χρήση τέτοιων μικρών μονάδων.

Αρχικά, θα πρέπει να αποφασισθεί εάν ένα τέτοιο σύστημα θα σχεδιαστεί ούτως ώστε να εξασφαλίζει την πλήρη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε θέρμανση, ή σε ηλεκτρισμό ή και στα δύο. Οι αποδόσεις τέτοιων συστημάτων εμφανίζονται πολύ υψηλές, της τάξης ακόμη και του 80% (ΔΠΠΕ, 2009, σ. 94). Ένα τέτοιο σύστημα παρέχει μειωμένες εκπομπές επιβλαβών καυσαερίων, όπως CO₂ και NO_x σε σχέση με τις συμβατικές θερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής.

Σήμερα διατίθενται στην αγορά πολλά τυποποιημένα συστήματα που κατασκευάζονται στην Ευρώπη. Η συνολική παραγωγή ηλεκτρισμού από συμπαραγωγή καλύπτει σήμερα περί το 2% της συνολικής παραγωγής ρεύματος στην Ελλάδα καθώς και το 9% της παραγωγής σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Μια αρκετά διαδεδομένη τεχνολογία για την κάλυψη των θερμικών αναγκών οικισμών ή και πόλεων είναι η τηλεθέρμανση, όπου θερμότητα μεταφέρεται στα κτίρια με υπόγειες σωληνώσεις από μια κεντρική πηγή. Τέτοιες πηγές είναι συνήθως η απορριπτόμενη θερμότητα από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και η γεωθερμία. Στην Ελλάδα τηλεθέρμανση χρησιμοποιείται προς το παρόν σε Κοζάνη και Πτολεμαίδα.

1.3.3.5 Φωτοβολταϊκά συστήματα (Φ/Β)

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν εισέλθει δυναμικά στη ζωή μας, φιλοδοξώντας να την καταστήσουν πιο καθαρή και πιο οικολογική αφού η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι ένας από τους πιο σύγχρονους, μη ρυπογόνους τρόπους παραγωγής ενέργειας.

Η Ελλάδα διαθέτει ένα ιδιαίτερα αξιόλογο ηλιακό δυναμικό και για το λόγο αυτόν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία για την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας κερδίζουν συνεχώς έδαφος. Τα τελευταία χρόνια και ειδικά την τελευταία διετία η Πολιτεία προσφέρει σε ιδιώτες και επαγγελματίες σημαντικά οικονομικά κίνητρα για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων όπως η προνομιακή τιμή και το εισόδημα για 25 χρόνια.

Η διαδικασία παραγωγής μιας κιλοβατώρας από συμβατικά καύσιμα, όπως ο λιγνίτης, συνεπάγεται την έκλυση περίπου 1,1 kg διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα. Σε ετήσια βάση λοιπόν, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, ισχύος 10kWp αποτρέπει την έκλυση 14 τόνων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (Phaethon Energy, 2012).

Τα Φ/Β στοιχεία μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική μέσω ενός φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Κάθε Φ/Β στοιχείο ή κύτταρο ή κυψέλη αποτελείται από δύο στρώματα ημιαγωγού υλικού, συνήθως πυριτίου. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπέσει στην επαφή των δύο στρωμάτων, παράγει «ελεύθερα» ηλεκτρόνια και οπές. Όσα από αυτά δημιουργούνται μέσα και κοντά στην επιφάνεια της επαφής, προωθούνται από το εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο της επαφής, στα δύο άκρα της διάταξης αντίστοιχα. Ο ρυθμός που παράγονται οι ελεύθεροι φορείς, είναι τέτοιος ώστε, το ηλεκτρικό ρεύμα και η ηλεκτρική τάση στα άκρα του Φ/Β στοιχείου να διατηρούνται σε αξιοποιήσιμα επίπεδα, σε ό,τι αφορά την αποδιδόμενη σε έναν καταναλωτή ηλεκτρική ισχύ. Έτσι, παράγεται εν τέλει συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα.

Υπάρχουν δύο ειδών συστήματα εκμετάλλευσης:

- Το διασυνδεδεμένο σύστημα: το οποίο σήμερα είναι και το πλέον διαδεδομένο. Το σύστημα αυτό διοχετεύει όλη την ενέργεια που παράγει στο δίκτυο της ΔΕΗ, το οποίο ωστόσο, συνεχίζει να τροφοδοτεί τον καταναλωτή. Βάσει της τιμολόγησης που έχει κλειδώσει έως και σήμερα, η ΔΕΗ αγοράζει κατά 0,55€ την κιλοβατώρα. Ο καταναλωτής από την άλλη μεριά εξακολουθεί να αγοράζει ρεύμα από τη ΔΕΗ με την ισχύουσα χρέωση (0,09-0,12€/κιλοβατώρα) και γίνεται «συμψηφισμός» στο λογαριασμό του ηλεκτρικού ρεύματος.
- Το αυτόνομο σύστημα: περιλαμβάνει επιπλέον και **μπαταρίες** ώστε να αποθηκεύει την παραγόμενη ενέργεια. Για την εγκατάσταση ενός αυτόνομου συστήματος, πρέπει να γίνει μελέτη των προς κάλυψη ηλεκτρικών αναγκών, δηλαδή της ενέργειας που απαιτείται για την απρόσκοπτη λειτουργία των συσκευών, για πόσες ώρες λειτουργίας ημερησίως, και για τη διάρκεια της αυτονομίας του συστήματος για τις ημέρες χωρίς ηλιοφάνεια. Ενδείκνυται κυρίως για περιπτώσεις που δεν είναι δυνατή ή επιθυμητή η σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ, όπως σε πολύ απομακρυσμένες περιοχές ή σε εξοχικές κατοικίες, όπου η χρήση γίνεται για συγκεκριμένο διάστημα μέσα στο έτος (Φωτοβολταϊκά - Χρήσιμα, 2011)

Βασική τεχνική παράμετρος ενός Φ/Β πλαισίου είναι η ισχύς αιχμής P_p (W ή kW), που εκφράζει την παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ όταν το Φ/Β πλαίσιο εκτεθεί σε ηλιακή ακτινοβολία 1 kW/m^2 .

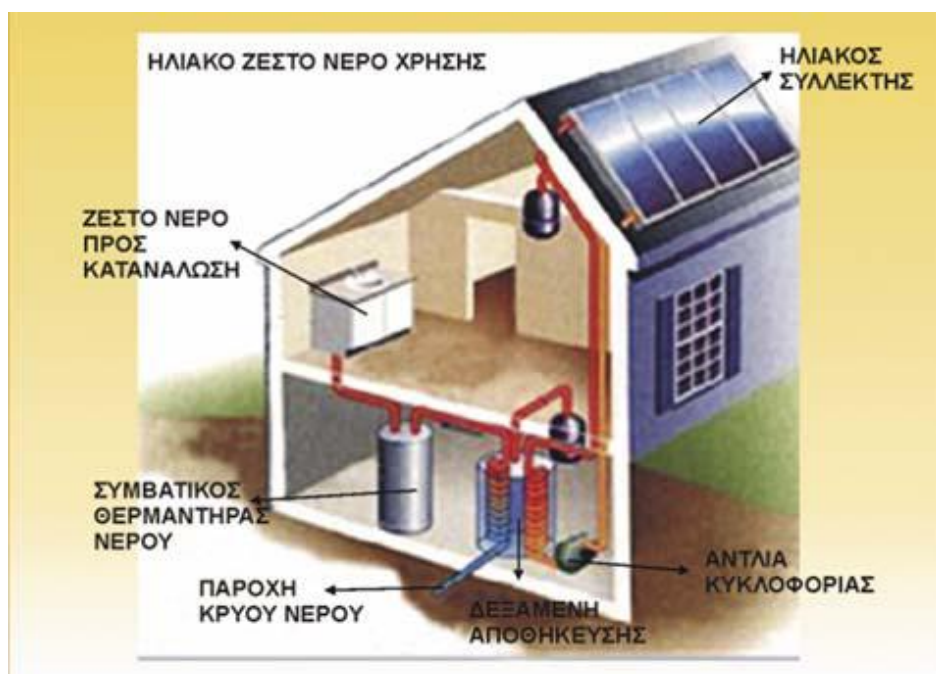
2 Χρήση ενεργητικών συστημάτων για εξοικονόμηση ενέργειας – Ηλιακά συστήματα και γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

2.1 Ηλιακά θερμικά συστήματα - Παραγωγή ζεστού νερού χρήσης

Η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα επιτυγχάνεται μέσω των θερμικών ηλιακών συστημάτων, τα οποία χρησιμοποιούν συλλέκτες και δεξαμενές αποθήκευσης ως χωριστά υποσυστήματα, ενώ η μεταφορά ενέργειας μέσω θερμαινόμενου ρευστού (νερού ή αέρα) πραγματοποιείται είτε με φυσική ροή, είτε με κυκλοφορητή.

2.1.1 Περιγραφή τεχνολογίας

Ένα τυπικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες, μια δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού, τις απαραίτητες σωληνώσεις και το σύστημα ελέγχου. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το συλλέκτη και η συλλεγόμενη θερμότητα αντλείται με φυσικό ή τεχνητό τρόπο στη δεξαμενή. Το παραγόμενο ζεστό νερό χρήσης από τα θερμικά ηλιακά συστήματα αποθηκεύεται σε ειδικές δεξαμενές προκειμένου στη συνέχεια να καταναλωθεί σε διάφορα σημεία (ντους, κουζίνα, πλυντήρια, κ.ο.κ.) του κτιρίου, στο οποίο λειτουργεί η εγκατάσταση.



Εικόνα 2.1.1.1: Ηλιακό θερμικό σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας- Παροχή ζεστού νερού χρήσης, (ΚΑΠΕ, 2000)

Τα θερμικά ηλιακά συστήματα ποικίλουν από χαμηλού κόστους, συμβατικά θερμοσιφωνικά –χωρίς εξειδικευμένο συμπαραομαρτούντα μηχανολογικό εξοπλισμό– έως τα πιο σύγχρονα, περίπλοκα και δαπανηρά, με κεντρικό ηλιακό σύστημα, στο οποίο χρησιμοποιούνται αντλίες, εναλλάκτες θερμότητας, αισθητήρες και σύστημα ελέγχου.

2.1.2 Ταξινόμηση των συστημάτων

Βάσει του ISO/DIS 9488 η ταξινόμηση των παραπάνω συστημάτων ανάλογα με το μηχανισμό λειτουργίας τους είναι η ακόλουθη:

- Αυτόνομα συστήματα, χωρίς βοηθητική θερμαντική πηγή.
- Συστήματα προθέρμανσης, τα οποία προθερμαίνουν νερό και στη συνέχεια τροφοδοτούν άλλα συμβατικά συστήματα θέρμανσης.
- Υβριδικά συστήματα, τα οποία αξιοποιούν ηλιακά και συμβατικά συστήματα, ώστε να μπορούν να καλύπτουν θερμαντικές ανάγκες, ανεξάρτητα από τη διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας.

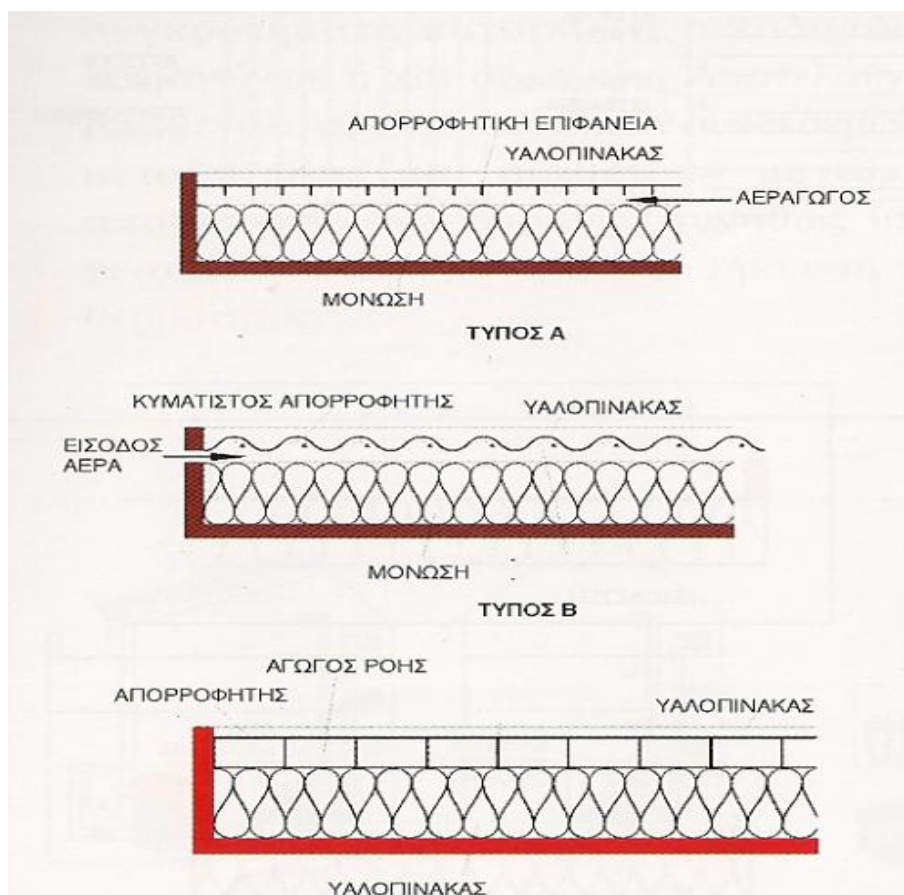
Ανάλογα με το μέσον που χρησιμοποιούν για συλλογή και αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας, τα διάφορα συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν ακολούθως σε:

- Συστήματα αέρος, για θέρμανση χώρων και ξήρανση αγροτικών προϊόντων και για βιομηχανικές εφαρμογές
- Συστήματα υγρού, για ευρύτερη θέρμανση χώρων, παραγωγή ζεστού νερού για οικιακή και όχι μόνο χρήση, συστήματα κλιματισμού, θέρμανση νερού για πισίνες και τέλος ως πηγή ενέργειας για αντλίες θερμότητας.

Ηλιακά συστήματα αέρος

Η λειτουργία τους βασίζεται στην κυκλοφορία θερμού αέρα μέσω αγωγών, από και προς έναν ηλιακό συλλέκτη. Η παραγόμενη θερμότητα αποθηκεύεται σε κατάλληλες δεξαμενές αποθήκευσης. Το βασικό πλεονέκτημα των συστημάτων αέρος είναι η αμεσότητα του αέρα, ο οποίος μπορεί να καταναλωθεί απ' ευθείας, χωρίς την παρεμβολή κάποιου εναλλάκτη, για τη θέρμανση του χώρου. Επιπροσθέτως, τα συστήματα αυτά δε χρειάζονται αντιψυκτική προστασία και ως εκ τούτου το κόστος λειτουργίας τους είναι χαμηλό. Ωστόσο, επιδεικνύουν κάποια μειονεκτήματα σε ό,τι αφορά τη μεταφορά και τη διανομή του θερμού αέρα, τεχνικές δυσκολίες, οι οποίες όμως αντιμετωπίζονται με τον συνδυασμό των ηλιακών με συμβατικά συστήματα διανομής θερμού αέρα.

Οι ηλιακοί συλλέκτες αέρος περιέχονται σε μονωμένο κλειστό πλαίσιο, του οποίου η άνω επιφάνεια καλύπτεται με γυαλί που παγιδεύει τη θερμική ακτινοβολία. Με αυτόν τον τρόπο θερμαίνεται ο ψυχρός αέρας που διέρχεται ανάμεσα στο γυάλινο κάλυμμα και τον συλλέκτη. Καθώς όμως η θερμική αγωγιμότητα του αέρα είναι μικρή, η επιφάνεια ενός ηλιακού συλλέκτη αέρος θα πρέπει να είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ενός συλλέκτη υγρού. Εν γένει η απόδοση των πρώτων είναι σημαντικά μικρότερη από των δευτέρων. (ΔΙΠΕ,2009,σ.87)



Εικόνα 2.1.2.1: Κατασκευή τυπικών ηλιακών συλλεκτών αέρος, (ΔΙΠΕ, 2009)

Σε ό,τι αφορά το σύστημα αποθήκευσης της θερμότητας, αυτό κρίνεται εξόχως σημαντικό καθώς τις περισσότερες φορές η ανάγκη για χρησιμοποίηση της προκύπτουσας ενέργειας σπάνια συμπίπτει χρονικά με την παραγωγή της. Το αποθηκευτικό σύστημα εν γένει δε θα πρέπει να είναι πολύ μικρό, ώστε να χάνεται ενέργεια, αλλά ούτε και πολύ μεγάλο, διότι τότε ανακύπτουν ζητήματα κόστους αλλά και χώρου. Για την επιλογή χωρητικότητας πρωτεύοντα ρόλο διαδραματίζουν τα θερμικά φορτία που πρέπει να ικανοποιηθούν, η απόδοση του συλλέκτη, το κόστος

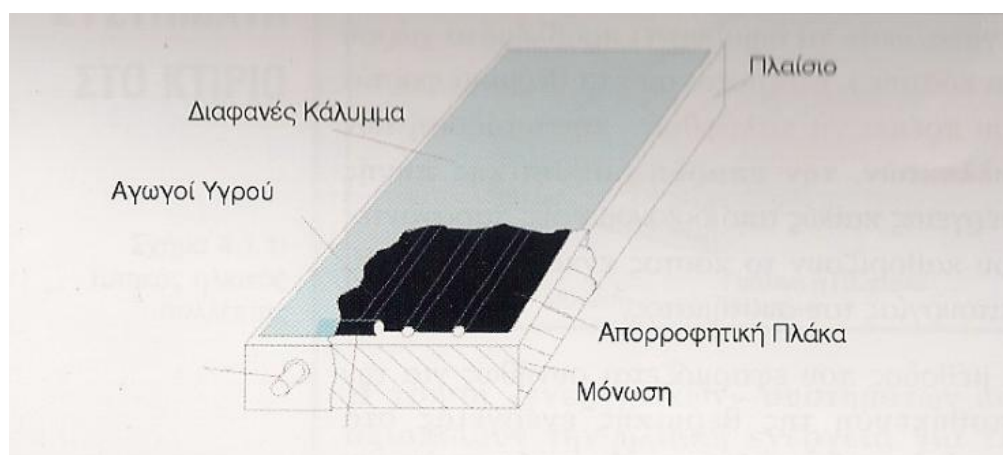
εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος, καθώς επίσης και η ύπαρξη ή μη βοηθητικής πηγής ενέργειας.

Συνηθέστερη πρακτική για την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας στα συστήματα αέρος, αποτελεί η χρήση στρώματος από πέτρες ή χαλίκια, υλικών δηλαδή μεγάλης θερμοχωρητικότητας. Ο θερμός αέρας διοχετεύεται μέσω του στρώματος αυτού σε καλά θερμομονωμένο χώρο και τον θερμαίνει. Το φαινόμενο αυτό λειτουργεί αντίστροφα τη νύχτα: από το εσωτερικό του κτιρίου διοχετεύεται στο αποθηκευτικό ψυχρός αέρας, ο οποίος απορροφά τη θερμότητα. Στη συνέχεια, ο θερμός αέρας διοχετεύεται στο θερμαινόμενο χώρο.

Ηλιακά συστήματα υγρού

Η λειτουργία των ηλιακών συστημάτων υγρού βασίζεται στην κυκλοφορία υγρού (συνηθέστερα νερού ή διαλύματος νερού) διαμέσου αγωγών από και προς έναν ηλιακό συλλέκτη. Οι πιο δημοφιλείς τύποι είναι οι ακόλουθοι:

- **Επίπεδος συλλέκτης**: πρόκειται για τον πιο κοινό τύπο συλλέκτη για κατοικίες και επαγγελματικούς χώρους.

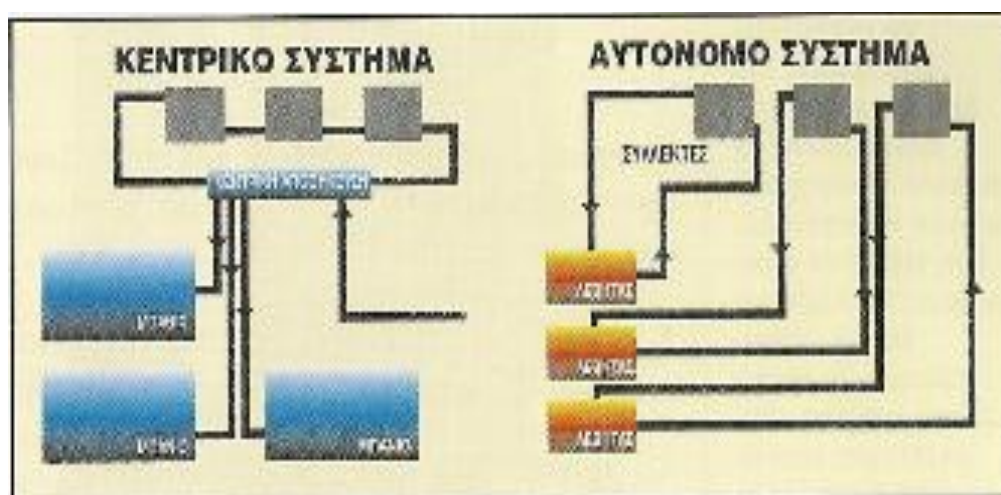


Εικόνα 2.1.2.2: Κατασκευή τυπικών ηλιακών συλλεκτών νερού, (ΔΙΠΕ, 2009)

Αποτελείται από μια απορροφητική επιφάνεια με επικάλυψη ειδικού «επιλεκτικού» υλικού (ούτως ώστε να απορροφά αυτό το μέγιστο δυνατό της ηλιακής ακτινοβολίας) και ένα μονωμένο κάλυμμα από γυαλί ή πλαστικό, ούτως ώστε να εμποδίζεται η επανεκπομπή της απορροφούμενης ακτινοβολίας. Η απορροφητική αυτή επιφάνεια βρίσκεται εν επαφή με αγωγούς που μεταφέρουν το υγρό μέσον και άρα τη θερμότητα από το συλλέκτη προς τη δεξαμενή αποθήκευσης της θερμότητας. Ο συλλέκτης αυτού του είδους μπορεί να παρέχει θερμό νερό σε θερμοκρασία που φτάνει

μέχρι και τους 95°C. Βασικό πλεονέκτημα είναι η απλή τους κατασκευή, το μικρό σχετικά κόστος, η εύκολη συντήρηση, η ανθεκτικότητα και η ικανότητά του να απορροφά τη διάχυτη ακτινοβολία.

- **Συλλέκτες κενού**: πρόκειται για διατάξεις υψηλής τεχνολογίας, στις οποίες ένας αγωγός θερμότητας (π.χ. ήπειρο) κυκλοφορεί μέσα σε σωλήνα, ο οποίος περιβάλλεται από ένα δεύτερο σωλήνα κενού. Η ύπαρξη του κενού μειώνει τις απώλειες και έτσι επιτυγχάνονται υψηλότερες αποδόσεις. Το θερμοαγωγό ρευστό αποδίδει στην κατανάλωση τη θερμότητά του είτε με αλλαγή φάσης είτε μέσω ενός κύκλου εξάτμισης – συμπύκνωσης με τη βοήθεια εναλλάκτη.
- **Συγκεντρωτικοί συλλέκτες**: πρόκειται για παραβολοειδείς ή κυλινδρικές διατάξεις, εφοδιασμένες με κατάλληλα ανακλαστική εσωτερική επιφάνεια, η οποία καθοδηγεί και συγκεντρώνει την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα σημείο, στο οποίο θα αναπτυχθεί υψηλή θερμοκρασία. Οι περισσότεροι συλλέκτες αυτού του τύπου έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν την ηλιακή τροχιά, φθάνοντας έτσι υψηλές αποδόσεις. Σημαντικό ωστόσο μειονέκτημά τους, παραμένει το αρχικά πολύ υψηλό τους κόστος, που τα καθιστά ασύμφορα για συνήθεις κτιριακές εφαρμογές.



Εικόνα 2.1.2.3: Κατασκευή τυπικών ηλιακών συλλεκτών νερού, (ΔΙΠΕ, 2009)

Το πιο διαδεδομένο μέσο για την αποθήκευση της θερμότητας στα συστήματα υγρού είναι το νερό. Στις απλούστερες περιπτώσεις, οδηγείται σε μια μονωμένη δεξαμενή. Το νερό θερμαίνεται με τη χρήση εναλλακτών θερμότητας, οι οποίοι αποδίδουν στη δεξαμενή τη θερμότητα από το υγρό που κυκλοφορεί.

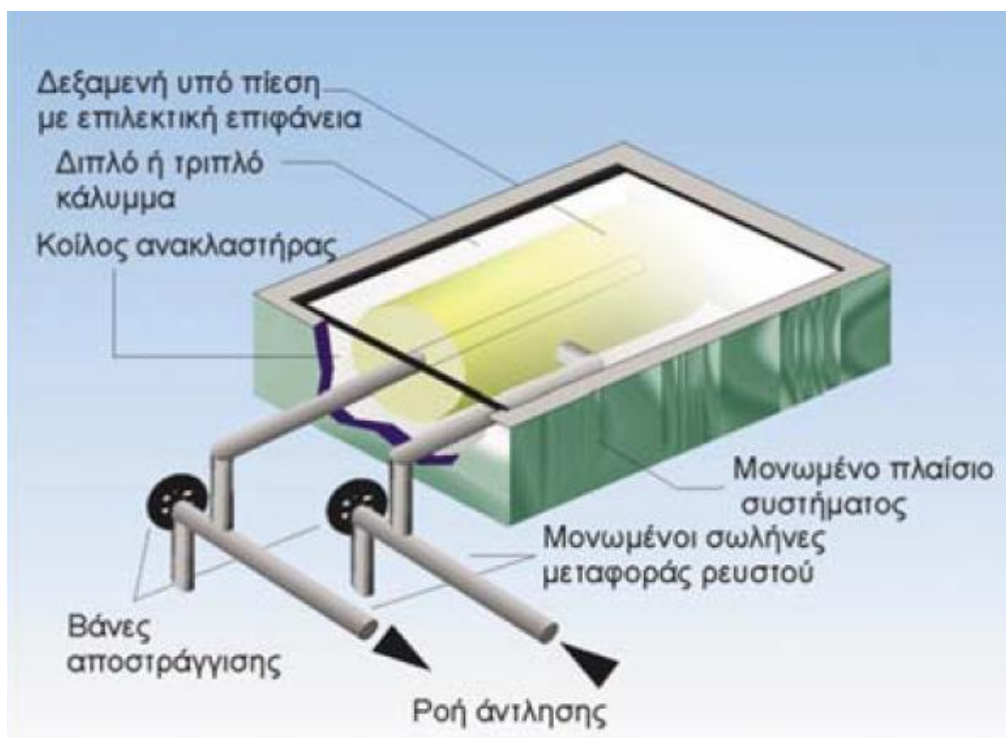
Επιπρόσθετα είναι δυνατή η χρήση αποθηκευτικών συστημάτων αλλαγής φάσεως (στα οποία η θερμότητα αποθηκεύεται και αποδίδεται με τη μορφή λανθάνουσας). Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά τους συνοψίζονται ακολούθως:

- Έχουν μικρή μάζα και όγκο
- Λειτουργούν με μικρές διαφορές θερμοκρασίας
- Έχουν μεγάλη αποθηκευτική ικανότητα

Ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία προορίζονται, τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, το μέγεθός τους, τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής, δύνανται να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά συστήματα. Η ποικιλία που παρουσιάζουν οι διατάξεις των συστημάτων αυτών οφείλεται κατά κύριο λόγο στους διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους τα συστήματα αυτά προστατεύονται από τον παγετό, καθώς επίσης και στον τρόπο με τον οποίον επιτυγχάνεται η κυκλοφορία του ζεστού νερού.

A. Τα συστήματα φυσικής κυκλοφορίας διακρίνονται ως ακολούθως:

- Συστήματα με εσωτερική αποθήκευση θερμότητας: η αποθήκευση θερμότητας γίνεται απ' ευθείας εντός του συλλέκτη, του οποίου το ρόλο διαδραματίζει η ίδια η επιφάνεια της δεξαμενής. Πρόκειται για τα πιο απλά συστήματα, των οποίων η εφαρμογή ενδείκνυται για θερμά κλίματα, ιδίως σε αστικό περιβάλλον, δεδομένου ότι απαιτούν μικρό χώρο. Μπορούν δε να εγκατασταθούν ακόμη και στην οροφή του κτιρίου.
- Θερμοσιφωνικά συστήματα: στηρίζονται στη φυσική κυκλοφορία του νερού στους συλλέκτες και τη δεξαμενή, η οποία βρίσκεται επάνω από το συλλέκτη. Καθώς το νερό θερμαίνεται στον ηλιακό συλλέκτη, γίνεται ελαφρύτερο και ανέρχεται με φυσικό τρόπο προς τη δεξαμενή αποθήκευσης, ενώ το ψυχρότερο νερό της δεξαμενής ρέει μέσω των σωληνώσεων προς το κατώτερο σημείο του συλλέκτη, δημιουργώντας μια αέναη κυκλοφορία σε όλο το σύστημα.

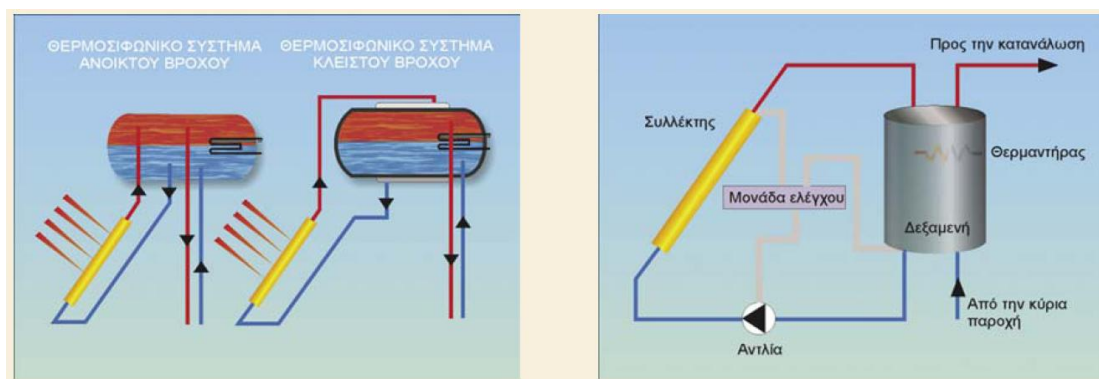


Εικόνα 2.1.2.4: Τομή συμπαγούς συλλέκτη με ενσωματωμένη δεξαμενή νερού, (ΚΑΠΕ, 2000)

Β. Τα συστήματα **εξαναγκασμένης κυκλοφορίας** χρησιμοποιούν ηλεκτρικές αντλίες, βαλβίδες και συστήματα ελέγχου για να κυκλοφορήσουν το νερό ή τα άλλα ρευστά μεταφοράς θερμότητας μέσα στους συλλέκτες.

- I. Συστήματα ανοικτού βρόχου: χρησιμοποιούν αντλίες (κυκλοφορητές), προκειμένου να κυκλοφορεί το νερό χρήσης μέσα στους συλλέκτες.
- II. Συστήματα κλειστού βρόχου: αντλούν το ρευστό μεταφοράς θερμότητας – το οποίο συνήθως αποτελείται από μείγμα νερού και γλυκόλης, που έχει αντιψυκτικές ιδιότητες- μέσα στους συλλέκτες. Η θερμότητα μεταφέρεται μέσω εναλλακτών θερμότητας από το ρευστό στο νερό που αποθηκεύεται στις δεξαμενές.

Τα συστήματα ανοικτού και κλειστού βρόχου μπορεί να είναι και φυσικής κυκλοφορίας.



Εικόνα 2.1.2.5: Σχηματική απεικόνιση θερμικών ηλιακών συστημάτων νερού εξαναγκασμένης κυκλοφορίας (ΚΑΠΕ, 2000)

- Συστήματα υγρού με μηχανική κυκλοφορία: η κατηγορία αυτή συνοδεύεται από ύπαρξη αντλιών και έλεγχο της παραγωγής και αποθήκευσης θερμότητας μέσω αυτοματισμού. Χρησιμοποιούνται κατά κόρον στη Βόρεια Ευρώπη, είτε ως αυτόνομα, είτε ως υβριδικά για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και τη θέρμανση χώρων. Το κόστος τους είναι συγκριτικά υψηλότερο, πλεονεκτούν όμως ως προς τις αποδόσεις τους. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει η δυνατότητα υπέρβασης του κελύφους του κτιρίου με υπερυψωμένη δεξαμενή, οι αντλίες πάντως δίνουν τη λύση.
- Σύνθετα συστήματα: πρόκειται για συστήματα μεγάλης κλίμακας, που χρησιμοποιούνται σε συγκροτήματα κατοικιών ή οικοδομικών τετραγώνων. Αποτελούνται από έναν αριθμό συλλεκτών συνδεδεμένων μεταξύ τους και διαθέτουν μεγάλους αποθηκευτικούς χώρους –συνηθέστερα υπόγειους- για τη μόνιμη αποθήκευση της θερμότητας.

2.1.3 Απόδοση των ηλιακών συστημάτων – παράμετροι σχεδιασμού

Θεμελιώδους σημασίας παράγοντες είναι εκείνοι που επηρεάζουν το σχεδιασμό των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων και θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν κατά τη διάρκεια της μελέτης:

- Η τοποθέτηση των ηλιακών συλλεκτών: ούτως ώστε να μεγιστοποιείται το ηλιακό τους κέρδος, με κύριες παραμέτρους τον προσανατολισμό αλλά και τη γωνία κλίσης. Για περιοχές στο βόρειο ημισφαίριο, βέλτιστος προσανατολισμός θεωρείται ο Νότιος –το αντίστροφο συμβαίνει για περιοχές

του νοτίου ημισφαιρίου-, με βέλτιστη γωνία κλίσης του συλλέκτη ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (Ahrens, 2009, σ.66).

- Η επιλογή μεταξύ κεντρικού συστήματος, το οποίο να τροφοδοτεί τις ανάγκες ενός ολόκληρου κτιρίου και ατομικών συστημάτων για κάθε χρήστη χωριστά: συναρτάται με το είδος της εφαρμογής, το απαιτούμενο θερμικό φορτίο, τον αριθμό των χρηστών, την ημερήσια και εποχική κατανομή της ζήτησης, το είδος και το σχήμα του κτιρίου. Για παράδειγμα σε ένα πολυώροφο κτίριο γραφείων ενδεικνυόμενη είναι η περίπτωση κεντρικού συστήματος.
- Η επιλογή του είδους της αποθήκευσης: η οποία μπορεί να είναι σε ημερήσια βάση για την κάλυψη των νυχτερινών αναγκών σε ζεστό νερό και θέρμανση, εβδομαδιαία για την κάλυψη σύντομων περιόδων κακοκαιρίας, εποχική για την κάλυψη των αναγκών του χειμώνα, με αποθήκευση της θερμότητας που συλλέχθηκε το καλοκαίρι. Μια τέτοια επιλογή χαρακτηρίζει τις ενεργειακές ανάγκες του εκάστοτε κτιρίου, τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες, καθώς επίσης και το διαθέσιμο χώρο και κόστος για μια τέτοια εγκατάσταση.
- Η σωστή διαστασιολόγηση του συστήματος και συγκεκριμένα του αποθηκευτικού συστήματος σε σχέση με το μέγεθος των συλλεκτών και τις εκάστοτε ενεργειακές ανάγκες: καθώς η υπερδιαστασιολόγηση θα μειώσει σημαντικά την απόδοσή του, ενώ από την άλλη μια υποδιαστασιολόγηση της θερμικής δεξαμενής δε θα έλυne το πρόβλημα της κάλυψης σε θερμικά φορτία.
- Η ύπαρξη τυχόν άλλου βοηθητικού συστήματος θέρμανσης: με σκοπό την όσο το δυνατόν μικρότερη δαπάνη ηλεκτρικής ή άλλης μη ανανεώσιμης ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών φορτίων του κτιρίου. Το γεγονός αυτό βεβαίως προϋποθέτει λεπτομερή έλεγχο συμβατότητας των δύο συστημάτων.

2.1.4 Τα μέρη ενός ηλιακού θερμικού συστήματος

2.1.4.1 Ο ηλιακός συλλέκτης

Η λειτουργία των συλλεκτών βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου που αναπτύσσεται στο χώρο ανάμεσα στην πλάκα απορρόφησης και τη γυάλινη επικάλυψη. Αρχικά η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε σκουρόχρωμη απορροφητική πλάκα, αυξάνοντας της θερμοκρασία της. Η πλάκα με τη σειρά της

εκπέμπει μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμική ακτινοβολία) για την οποία υπερκείμενη γυάλινη επιφάνεια, που καλύπτει την πλάκα, είναι σχεδόν αδιαφανής (δε διαπερνάται από την υπέρυθη ακτινοβολία). Ως εκ τούτου η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία παγιδεύεται ανάμεσα στην πλάκα και στο γυάλινο κάλυμμα, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η απόδοση σε ό,τι αφορά τη θέρμανση του νερού. Σωλήνες εντός των οποίων κυκλοφορεί ρευστό, βρίσκονται σε επαφή με την πλάκα στο πίσω μέρος της ή είναι ενσωματωμένοι σ' αυτή. Θεμελιακής σημασίας παράμετροι σε ό,τι αφορά την απόδοση του συστήματος είναι η απορροφητικότητα της πλάκας στην ηλιακή ακτινοβολία, ο συντελεστής εκπομπής της πλάκας στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (οφείλει να είναι μικρός) και η αδιαφάνεια του γυάλινου καλύμματος ως προς την υπέρυθη ακτινοβολία. Βέλτιστος συνδυασμός υλικών που προσφέρουν την καλύτερη σχέση απόδοσης - τιμής είναι το γυαλί και η επιφάνεια από αλουμίνιο ή χαλκό χρωματισμένη μαύρη. Ο βαθμός απορρόφησης των διάφορων απορροφητήρων κυμαίνεται από 0,8 μέχρι 0,98 με το υπόλοιπο 0,2 και 0,02 αντίστοιχα να ανακλάται. Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους, όπως προαναφέρθηκε, οι ηλιακοί συλλέκτες διακρίνονται στους επίπεδους και τους συγκεντρωτικούς και κενού.

2.1.4.2 Απόδοση ηλιακών συλλεκτών

Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες εν γένει παράγουν σχετικά μικρή ποσότητα θερμότητας, η οποία θα αξιοποιηθεί για την θέρμανση του νερού και των χώρων ενός κτιρίου. Η σχετικά χαμηλή ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του συλλέκτη και οι αυξημένες θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον λόγω των μεγάλων επιφανειών δεν μας επιτρέπουν να πετύχουμε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 150°C. Η συνήθης περιοχή λειτουργίας τους είναι από 40°C έως 100°C. Το μεγαλύτερο ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας (άμεσης και διάχυτης) απορροφάται από μία επιφάνεια, που συμπεριφέρεται σαν «μέλαν σώμα» στην ηλιακή ακτινοβολία. Ένα μέρος της απορροφούμενης ακτινοβολίας μεταφέρεται σε κάποιο ρευστό, ενώ το υπόλοιπο χάνεται στο περιβάλλον. Το ποσό της θερμότητας που παράγεται από το ρευστό είναι το ωφέλιμο ενεργειακό κέρδος του συλλέκτη και αποθηκεύεται ή τροφοδοτεί απευθείας το φορτίο. Το κέρδος αυτό για ένα επίπεδο ηλιακό συλλέκτη είναι 350-400 kWh/m²έτος για ετήσια ηλιακή ακτινοβολία 1000

kWh/m²έτος. Μερικά από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών συνοψίζονται ως ακολούθως:

- Χρησιμοποίηση σε εφαρμογές που απαιτούν απόδοση ενέργειας σε μέσες θερμοκρασίες δηλαδή μέχρι περίπου 100°C πάνω από την θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- Εκμετάλλευση και της αμέσου και της διάχυτου ακτινοβολίας.
- Δεν απαιτείται μηχανισμός κίνησης για την παρακολούθηση του ήλιου (tracking) –είναι ωστόσο προτιμητέος για μεγιστοποίηση των ετησίων ηλιακών κερδών- και συνεπώς είναι μηχανικά απλούστεροι των συγκεντρωτικών συλλεκτών.
- Απαιτούν μικρή μόνο συντήρηση. Αρκεί ο καθαρισμός της επιφάνειάς τους τακτικά, για την αποφυγή επικαθίσεων ρύπων και αιωρούμενων στερεών.
- Κύριες εφαρμογές είναι η θέρμανση νερού χρήσης και η θέρμανση κτιρίων ενώ στις δυνατές εφαρμογές συμπεριλαμβάνεται ο κλιματισμός και η παραγωγή θερμότητας για βιομηχανική χρήση.

Τα επιμέρους τμήματα ενός ηλιακού συλλέκτη είναι τα ακόλουθα:

- I. Ένα ή περισσότερα καλύμματα πάνω από τον απορροφητήρα ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες δια συναγωγής και ακτινοβολίας προς το περιβάλλον. Το κάλυμμα είναι συνήθως από γυαλί αλλά μπορεί να είναι και από διαφανές πλαστικό.
- II. Ο απορροφητήρας ή πλάκα απορρόφησης , μία μεταλλική επιφάνεια υψηλής θερμικής αγωγιμότητας (συνήθως από χαλκό ή αλουμίνιο) με σκουρόχρωμη επικάλυψη.
- III. Το δίκτυο μεταφοράς του ρευστού αποτελείται από σωλήνες ή αεραγωγούς που κατασκευάζονται συνήθως από χαλκό και είναι σε επαφή με τον απορροφητήρα. Μέσα σε αυτούς κυκλοφορεί το ρευστό που απάγει την θερμότητα από τον απορροφητήρα.
- IV. Η μόνωση της πίσω και των παράπλευρων επιφανειών ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον. Μόνωση πάχους μεγαλύτερου από 15 cm για την πίσω πλευρά του συλλέκτη θεωρείται συνήθως επαρκής.
- V. Το περίβλημα , μεταλλικό ή πλαστικό πλαίσιο , που συγκρατεί την κατασκευή και προσφέρει προστασία από το περιβάλλον (βροχή, υγρασία, σκόνη).

Αποδιδόμενη Ισχύς και Απόδοση Συλλέκτη

Το ισοζύγιο ενέργειας σε έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη δίνει την ποσότητα θερμότητας που αποδίδει ο συλλέκτης συναρτήσει του εμβαδού της επιφάνειάς του, της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας, του συντελεστή θερμικών απωλειών του συλλέκτη και της διαφοράς ανάμεσα στην μέση θερμοκρασία του συλλέκτη και την θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα:

$$Q_u = A_c \cdot [S - U_L \cdot (T_m - T_a)] \quad [3]$$

Όπου: Q_u η ωφέλιμη θερμότητα (ισχύς) που αποδίδεται από τον συλλέκτη (W)

A_c επιφάνεια του συλλέκτη (επιφάνεια καλύμματος) (m^2)

S η απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή η διαφορά μεταξύ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και των οπτικών απωλειών (W / m^2)

U_L ο συντελεστής συνολικών θερμικών απωλειών του συλλέκτη, ο οποίος εκφράζει τις θερμικές απώλειες από τον συλλέκτη στο περιβάλλον δια αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας ($W / m^2 \text{ } ^\circ C$)

T_m η μέση θερμοκρασία του απορροφητήρα ($^\circ C$)

T_a η θερμοκρασία του περιβάλλοντος ($^\circ C$)

Ο συντελεστής συνολικών θερμικών απωλειών του συλλέκτη U_L αποτελείται από τρεις όρους :

$$U_L = U_t + U_b + U_e \quad [4]$$

Όπου: U_t ο συντελεστής θερμικών απωλειών κορυφής

U_b ο συντελεστής θερμικών απωλειών πυθμένος

U_e ο συντελεστής πλευρικών θερμικών απωλειών

Η απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία από τον απορροφητήρα υπολογίζεται θεωρώντας ότι στον κεκλιμένο συλλέκτη κλίσης β προσπίπτουν τρεις συνιστώσες ακτινοβολίας: άμεση, διάχυτη από τον ουρανό και διάχυτη προερχόμενη από ανάκλαση στο έδαφος. Συνεπώς σε ωριαία βάση ισχύει:

$$S = I_b \cdot R_b \cdot (\tau\alpha)_b + I_d \cdot (\tau\alpha)_d \cdot \frac{1+\cos\beta}{2} + \rho \cdot (I_b + I_d) \cdot (\tau\alpha)_g \cdot \frac{1-\cos\beta}{2} \quad [5]$$

Όπου: β η γωνία κλίσης της επιφάνειας

ρ ο συντελεστής ανακλάσεως του εδάφους

I_b η ωριαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

I_d η ωριαία διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

$(\tau\alpha)_b, (\tau\alpha)_d, (\tau\alpha)_g$ τα γινόμενα διαπερατότητας - απορροφητικότητας για την άμεση, διάχυτη από τον ουρανό και διάχυτη προερχόμενη από ανάκλαση στο έδαφος.

Η παραπάνω σχέση για τον υπολογισμό της απορροφούμενης ενέργειας από τον απορροφητήρα μπορεί να απλοποιηθεί θεωρώντας αντί των τριών γινομένων διαπερατότητας-απορροφητικότητας ένα μέσο γινόμενο $(\tau\alpha)_m$ οπότε:

$$S = (\tau\alpha)_m \cdot G_t \quad [6]$$

Όπου: G_t είναι η ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο του συλλέκτη.

Το γινόμενο της διαπερατότητας του καλύμματος επί την απορροφητικότητα του απορροφητήρα $(\tau\alpha)$ είναι ένα μέγεθος που απαιτείται για τους υπολογισμούς των ηλιακών φορτίων. Η ηλιακή ακτινοβολία, αφού περάσει από το διαφανές κάλυμμα και φθάσει στην απορροφητική επιφάνεια, χωρίζεται, και ένα μέρος της απορροφάται, ενώ ένα άλλο ανακλάται πίσω στο κάλυμμα προκαλώντας μια διαδοχική σειρά ανακλάσεων και απορροφήσεων. Για συνήθεις πρακτικές εφαρμογές μπορεί να γίνεται χρήση της προσέγγισης

$$(\tau\alpha) = 1,01 \cdot \tau \cdot \alpha \quad [7]$$

Όπου: τ ο συντελεστής διάβασης του γυάλινου καλύμματος

α ο συντελεστής απορρόφησης της μαύρης απορροφητικής επιφάνειας.

Όμως η μέση θερμοκρασία του συλλέκτη είναι δύσκολο να υπολογιστεί. Για το λόγο αυτό εισάγεται ένα νέο μέγεθος, ο **παράγων θερμικής απολαβής** του συλλέκτη F_R , ο οποίος εκφράζει το λόγο της πραγματικής αποδιδόμενης ισχύος Q_u προς την θερμική ισχύ που θα αποδιδόταν αν ολόκληρος ο απορροφητήρας είχε την θερμοκρασία εισόδου του ρευστού $T_{f,i}$:

$$F_R = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{f,0} - T_{f,i})}{A_c \cdot [S - U_L \cdot (T_{f,i} - T_a)]} \quad [8]$$

Όπου: $T_{f,0}$ η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από τον συλλέκτη (°C)

$T_{f,i}$ η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στο συλλέκτη (°C)

T_a η θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)

C_p η ειδική θερμοχωρητικότητα του ρευστού (J/Kgr °C)

\dot{m} η συνολική παροχή μάζας του συλλέκτη (Kgr/sec)

Το μέγιστο δυνατό θερμικό κέρδος σε ένα ηλιακό συλλέκτη επιτυγχάνεται, όταν όλος ο συλλέκτης βρίσκεται στην θερμοκρασία εισόδου του ρευστού σε αυτόν. Τότε το πραγματικό θερμικό κέρδος είναι:

$$Q_u = A_c \cdot F_R \cdot [S - U_L \cdot (T_{f,i} - T_a)] \quad [9]$$

Μέτρο της συμπεριφοράς του συλλέκτη είναι ο **βαθμός απόδοσης n** δηλαδή ο λόγος της ωφέλιμα αποδιδόμενης ενέργειας κατά την διάρκεια χρονικού διαστήματος τ προς την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια κατά το ίδιο χρονικό διάστημα. Ως **στιγμιαίος βαθμός απόδοσης του συλλέκτη n_i** ορίζεται ο λόγος της αποδιδόμενης ισχύος Q_u προς την αντίστοιχη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία $A_c \cdot G_T$:

$$n_i = \frac{Q_u}{A_c \cdot G_T} = F_R \cdot (\tau\alpha) - F_R \cdot U_L \cdot \frac{(T_i - T_a)}{G_T} \quad [10]$$

Ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης του συλλέκτη μπορεί επίσης να εκφραστεί και συναρτήσει των θερμοκρασιών εισόδου T_i και εξόδου T_o του θερμαινόμενου ρευστού δηλαδή:

$$n_i = \frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot (T_o - T_i)}{A_c \cdot G_T} \quad [11]$$

Ακολουθεί συνοπτικών πίνακας με χαρακτηριστικές τιμές συντελεστών ανάλογα με το είδος του συλλέκτη:

Πίνακας 2.1.4.2.1: Χαρακτηριστικά μεγέθη συντελεστών απωλειών ανάκλασης και θερμικών απωλειών επίπεδων ηλιακών συλλεκτών, (Περδός, 2009)

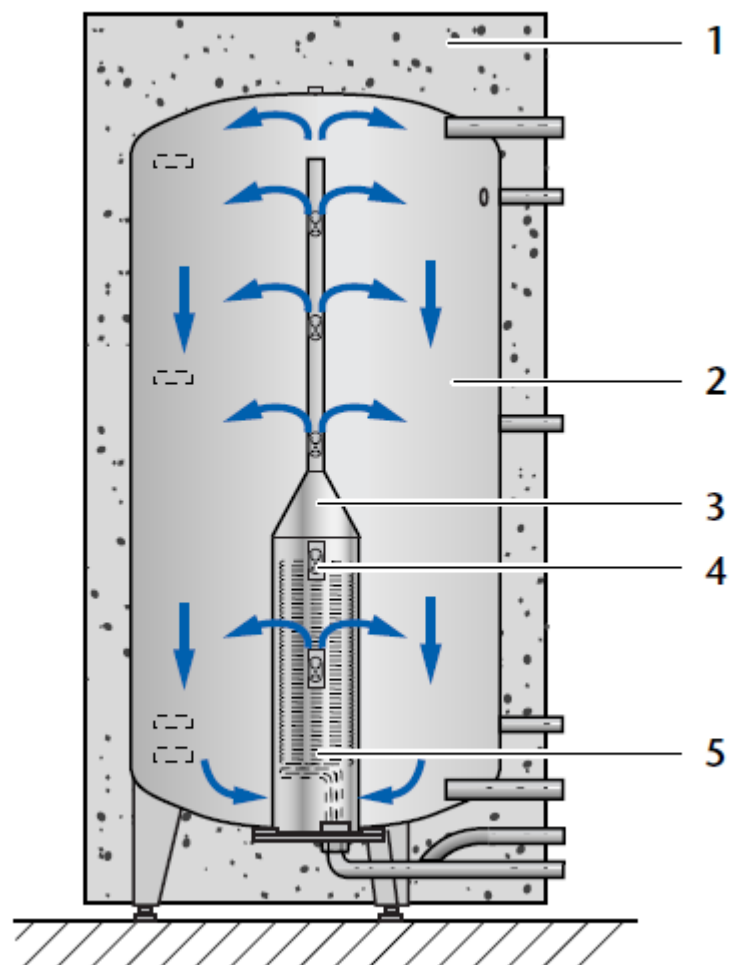
Περιγραφή Συλλέκτη	$F_R \cdot (\tau\alpha)_n$	$F_R \cdot U_L$
Μαύρος απορροφητήρας με μονό τζάμι	0,82	$7,5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Μαύρος απορροφητήρας με διπλό τζάμι ή επιλεκτική επιφάνεια με μονό τζάμι	0,75	$5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Κενού	0,45	$1,25 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Πλαστικός χωρίς τζάμι και μόνωση (δοκιμή σε ταχύτητα 2,2 m/s)	0,86	$21,5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

2.1.4.3 Λειτουργία δεξαμενής αποθήκευσης

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το συλλέκτη και η συλλεγόμενη θερμότητα αντλείται με φυσικό ή τεχνητό τρόπο στη δεξαμενή.

Στην αγορά υπάρχει σήμερα πληθώρα επιλογών θερμοδοχείων:

- I. Δοχεία αδράνειας για αποθήκευση ζεστού νερού για συστήματα θέρμανσης: έχουν τη δυνατότητα να συνδεθούν είτε με εξωτερικό εναλλάκτη με ηλιακούς συλλέκτες ή / και με λέβητα, αντλία θερμότητας ή οποιαδήποτε άλλη εξωτερική πηγή παραγωγής ζεστού νερού θέρμανσης. Ορισμένα διαθέτουν και ενσωματωμένο σταθερό εσωτερικό εναλλάκτη για σύνδεση με τους ηλιακούς συλλέκτες. Κατασκευάζονται συνήθως από ανοξείδωτο χάλυβα και διαθέτουν μόνωση υψηλής ποιότητας, συνήθως από σκληρή πολυουρεθάνη, προκειμένου να ελαχιστοποιούνται οι θερμικές απώλειες. Ένα πάχος των 70mm θεωρείται επαρκές. Η πίεση λειτουργίας τους κυμαίνεται περί τα 6bar, ενώ η μέγιστη θερμοκρασία που μπορεί να αναπτυχθεί είναι 99° C.
- II. Θερμοδοχεία τύπου «COMBI»: αυτά δύνανται να αναπτύξουν μια συνδυασμένη λειτουργία για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και ταυτόχρονη υποστήριξη θέρμανσης. Ως εκ τούτου, μπορούν να συνδεθούν ταυτόχρονα και με σύστημα ηλιακών συλλεκτών και με λέβητα. Στο εσωτερικό του θερμοδοχείου υπάρχει και ένα δεύτερο δοχείο, ειδικά επεξεργασμένο με υψηλής τεχνολογίας αντιδιαβρωτικό υλικό, το οποίο το καθιστά κατάλληλα για πόσιμο νερό. Είναι επίσης εφοδιασμένα με ηλεκτρονικό σύστημα ανοδικής προστασίας με άνοδο τιτανίου, γεγονός που τους εξασφαλίζει προστασία έναντι διάβρωσης για κάθε είδους νερό. Η ενέργεια των ηλιακών συλλεκτών μεταφέρεται μέσω ενός σταθερού εναλλάκτη στο θερμοδοχείο και αρχικά θερμαίνει το νερό της κεντρικής θέρμανσης και κατόπιν το ζεστό νερό χρήσης. Εάν δεν επαρκεί η ηλιακή ενέργεια, τότε τίθεται σε λειτουργία ο λέβητας προκειμένου να συμπληρώσει την απαιτούμενη ενέργεια. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται εξοικονόμηση καυσίμου, ενώ συγχρόνως είναι περιβαλλοντικά φιλικότερη. Η πίεση λειτουργίας που μπορεί να αναπτυχθεί σε τέτοια θερμοδοχεία είναι συνήθως της τάξης των 8 - 10bar.



- 1 Θερμομόνωση
- 2 Δοχείο αποθήκευσης
- 3 Ειδικός αγωγός μεταφοράς θερμότητας
- 4 Καπάκι βαρύτητας
- 5 Ηλιακός εναλλάκτης θερμότητας (σερπαντίνα)

Εικόνα 2.1.4.3.1: Σχηματική απεικόνιση δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού
(Buderus, 2007)

2.1.4.4 Λειτουργία εναλλάκτη θερμότητας

Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι συσκευές με τις οποίες επιτυγχάνεται η μεταφορά ενέργειας από ένα ρευστό υψηλής θερμοκρασίας σε ένα άλλο ρευστό χαμηλότερης θερμοκρασίας.

Ένα θερμο ηλιακό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού περιλαμβάνει τους ηλιακούς συλλέκτες και τη δεξαμενή αποθήκευσης νερού και μπορεί να είναι ανοιχτού ή κλειστού κυκλώματος, όπως προαναφέρθηκε.

Σε ένα ανοιχτό κύκλωμα το νερό της δεξαμενής διέρχεται από τους συλλέκτες και υπάρχει πάντοτε ο κίνδυνος α) του παγώματος του νερού και της καταστροφής των συλλεκτών και β) της απόθεσης αλάτων στους σωλήνες τους. Γι' αυτό το λόγο το ανοιχτό κύκλωμα συνίσταται σε περιπτώσεις που η θερμοκρασία δεν κατεβαίνει υπό τους 3 °C καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και η σκληρότητα του νερού δεν είναι μεγαλύτερη από 20 γερμανικούς βαθμούς.

Σε ένα κλειστό κύκλωμα τέτοιοι κίνδυνοι δεν υπάρχουν επειδή από τους συλλέκτες διέρχεται υδατικό διάλυμα γλυκόλης, το οποίο **δεν** αναμειγνύεται με το νερό της δεξαμενής. Με απλά λόγια, η γλυκόλη κυκλοφορεί στις σωληνώσεις των συλλεκτών και άρα θερμαίνεται και μέσω του εναλλάκτη μεταδίδει τη θερμότητά της στο νερό της δεξαμενής.

Λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στα δυο ρευστά, υπάρχει ωθούσα δύναμη για μεταφορά ενέργειας υπό μορφή θερμότητας από το ρευστό υψηλής θερμοκρασίας προς το ρευστό χαμηλής θερμοκρασίας μέσω του διαχωριστικού τοιχώματος που έχει ως άμεση συνέπεια την αύξηση του ενεργειακού περιεχομένου του ψυχρού ρευστού και προφανώς της θερμοκρασίας του. Ειδικότερα, υπάρχουν και διατάξεις εναλλαγής ενέργειας όπου υπάρχει άμεση επαφή μεταξύ των δύο ρευστών. Οι εναλλάκτες θερμότητας αυτού του τύπου ονομάζονται **άμεσης επαφής** και περιέχουν είτε δύο πλήρως μη-αναμίξιμα ρευστά, είτε ένα μη-υγροποιήσιμο αέριο στις συνθήκες λειτουργίας της συσκευής που διέρχεται μέσω ενός ρευστού, είτε τέλος ατμό που διασπείρεται σε ψυχρό νερό. Μεταφορά θερμότητας ανάμεσα στα δύο ρευστά, είναι και η συνήθης πρακτική σε συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας.

Αυτού του είδους οι εναλλάκτες θερμότητας διακρίνονται σε τρεις βασικούς τύπους:

α) Απλοί εναλλάκτες θερμότητας παράλληλης ροής ή κατά αντιρροή (Parallel flow or counterflow heat exchangers).

β) Εναλλάκτες θερμότητας με κυψέλη και σωληνώσεις (Shell-and-tube heat exchangers)

γ) Εναλλάκτες θερμότητας εγκάρσιας ροής (Cross-flow heat exchangers).

Ο κύριος στόχος στην θερμική ανάλυση των εναλλακτών θερμότητας είναι ο υπολογισμός της επιφάνειας που χρειάζεται για την μετάδοση θερμότητας με δεδομένο ρυθμό και για δεδομένες θερμοκρασίες και παροχές ρευστών. Αυτό

επιτυγχάνεται με την χρήση του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας (overall heat-transfer coefficient) U , που βρίσκεται στην θεμελιώδη σχέση για τον υπολογισμό του ρυθμού μετάδοσης θερμότητας, q :

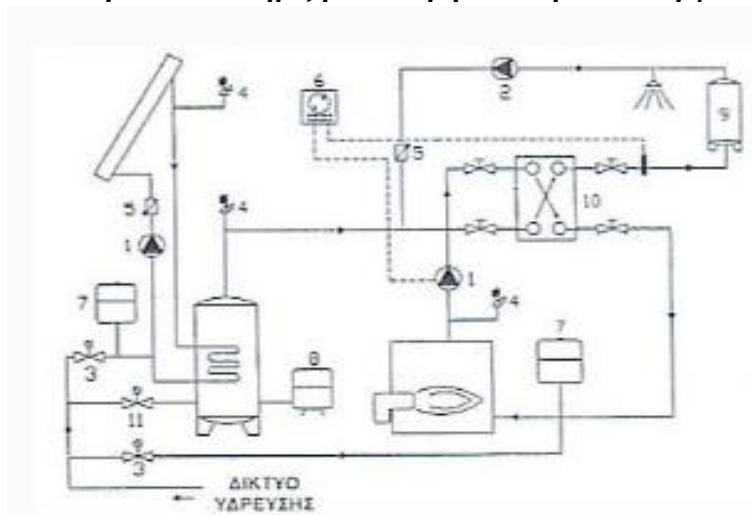
$$q = UA\overline{\Delta T} \quad [12]$$

Όπου: $\overline{\Delta T}$ είναι η μέση θερμοκρασιακή διαφορά για ολόκληρο τον εναλλάκτη

A η επιφάνεια που είναι κάθετη στην κατεύθυνση της θερμορροής

Ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας U ισούται με το αντίστροφο του αθροίσματος των θερμικών αντιστάσεων και μπορεί να ληφθεί προσεγγιστικά από πίνακες.

2.1.4.5 Υβριδικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού από ηλιακή θερμική εγκατάσταση και υποστήριξη από λέβητα πετρελαίου ή φυσικού αερίου



Εικόνα 2.1.4.5.1: Σχηματική απεικόνιση υβριδικού συστήματος παραγωγής ζεστού νερού από ηλιακή θερμική εγκατάσταση και υποστήριξη από λέβητα πετρελαίου ή φυσικού αερίου, (Buderus, 2007)

Η χρήση του υβριδικού συστήματος απαιτεί την ηλιακή θερμική εγκατάσταση και την εγκατάσταση θέρμανσης πετρελαίου ή αερίου. Ο συνδυασμός και των δύο εγκαταστάσεων γίνεται για να πετύχουμε την μέγιστη παραγωγή ζεστού νερού και θέρμανσης, ακόμη και όταν η ηλιακή εγκατάσταση δεν λειτουργεί λόγω συννεφιάς ή κατά την διάρκεια της νύχτας. Σε περίπτωση συννεφιάς ή κατά την διάρκεια της νύχτας η υποστήριξη παραγωγής ζεστού νερού και θέρμανσης γίνεται από τον λέβητα πετρελαίου ή αερίου. Όταν έχουμε ηλιοφάνεια η ηλιακή θερμική εγκατάσταση χρησιμοποιείται για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, το οποίο αποθηκεύεται στην δεξαμενή αποθήκευσης (δοχείο αδρανείας) ή χρησιμοποιείται για την

προθέρμανση του νερού που είναι ήδη αποθηκευμένο. Από εκεί θα χρησιμοποιηθεί στο δίκτυο σωληνώσεων κατανάλωσης ή θέρμανσης. Η εκκίνηση ή παύση λειτουργίας της ηλιακής εγκατάστασης και της εγκατάστασης θέρμανσης γίνεται μέσω του διαφορικού θερμοστάτη όπου ο ρόλος του είναι να συλλέγει τις απαιτούμενες θερμοκρασίες μέσω κατάλληλων αισθητήρων (συνήθως επιλέγονται αισθητήρες βύθισης ή σύσφιξης) και αφού κάνει τους απαιτούμενους υπολογισμούς να θέτει σε λειτουργία τους ηλεκτροκυκλοφορητές ή τις τριόδες βάνες της εγκατάστασης. Στην συγκεκριμένη εγκατάσταση χρησιμοποιούμε εξωτερικό πλακοειδή εναλλάκτη που συνδέεται σε σειρά με το δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού και τοποθετούμε τον εξωτερικό εναλλάκτη σε χαμηλότερο επίπεδο σε σχέση με τον συσσωρευτή (δοχείο αδρανείας), αποτρέποντας έτσι την δημιουργία του φαινομένου της επιστροφής του ρευστού. Μέσω του εναλλάκτη σε συνδυασμό με τον λέβητα θερμαίνουμε το νερό που προορίζεται για κατανάλωση, προσθέτοντας ενέργεια ανάλογα με την ζήτηση. Επιπλέον μπορεί να τοποθετηθεί δεύτερος πλακοειδής εναλλάκτης μεταξύ της εγκατάστασης των ηλιακών συλλεκτών και της αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης (δοχείο αδρανείας), αυξάνοντας την απόδοση του συστήματος.

Αυτό το σύστημα σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να περιορίζει την αύξηση θερμοκρασίας στην δεξαμενή αποθήκευσης λόγω υπερθέρμανσης κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Η παροχή του ρευστού είναι σχεδόν η μισή σε σύγκριση με ένα απλό θερμοσιφωνικό σύστημα αυξάνοντας έτσι την ροή του ρευστού μέσα στις σωληνώσεις.

Απαραίτητα στοιχεία για την μελέτη της εγκατάστασης:

Εφόσον έχουμε υπολογίσει το εμβαδόν της απαιτούμενης επιφάνειας των συλλεκτών και τον απαραίτητο όγκο συσσώρευσης στην δεξαμενή αποθήκευσης, έχουμε καλύψει τις ανάγκες που χρειάζονται για την κατανάλωση θερμού νερού οικιακής χρήσης. Κατόπιν, γίνεται η συλλογή των στοιχείων από την μηνιαία κατανάλωση πετρελαίου ή φυσικού αερίου μέσω του τιμολόγιου κατανάλωσης καυσίμου και από την απόδοση του καυστήρα. Τέλος, θα γίνει επιλογή των απαραίτητων στοιχείων που διέπουν μια εγκατάσταση αυτού του τύπου όπως ηλεκτροκυκλοφορητές, δοχεία διαστολής, πάχος μόνωσης σωληνώσεων, επιθυμητή διάμετρος σωληνώσεων, κατάλληλες βαλβίδες κ.α.

2.2 Ηλιακά θερμικά συστήματα - Θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής

Οι κολυμβητικές δεξαμενές (πισίνες) αποτελούν κομμάτι του κτιριακού σχεδιασμού με ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Φιλοξενούν μεγάλες ποσότητες νερού, οι οποίες θα πρέπει διαρκώς να φιλτράρονται, να ανανεώνονται και να θερμαίνονται. Σε ένα τέτοιο υγρό περιβάλλον, απαιτείται ταυτόχρονα επαρκής αερισμός, προς αποφυγήν ανάπτυξης αναερόβιων συνθηκών και κατά συνέπεια, συνθηκών προσφύλων στους διάφορους μικροοργανισμούς. Κατά συνέπεια οι πισίνες καταναλώνουν σημαντικά ποσά ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο, σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο τμήμα ενός κτιρίου. Για το λόγο αυτόν, καθίσταται εξέχουσας σημασίας ο προσεκτικός και εναλλακτικός σχεδιασμός τους, με γνώμονα την εξοικονόμηση ει δυνατόν ενέργειας.

Τυπικά, οι εσωτερικού χώρου πισίνες είναι χώροι που αποσκοπούν σε χρήση καθημερινή, σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Χαρακτηριστικά, οι θερμοκρασίες τους κυμαίνονται περί τους 30ο C και απαιτούν αυξημένο αερισμό προκειμένου να κανονικοποιείται η διαδικασία της εξάτμισης και να προστατεύεται το κτιριακό κέλυφος από την αναπτυσσόμενη υγρασία.

Το ενεργειακό κόστος σύμφωνα με στοιχεία (Best Practice programme, 1997) αντιπροσωπεύει το 25% του λειτουργικού κόστους μιας τυπικής κολυμβητικής δεξαμενής. Από την απαιτούμενη αυτή ενέργεια, το 25% αναλώνεται μόνο για τη θέρμανση του νερού και αντιστοιχεί περίπου στο 13% του ενεργειακού λειτουργικού κόστους, όπως καταδεικνύει και το ακόλουθο σχήμα:

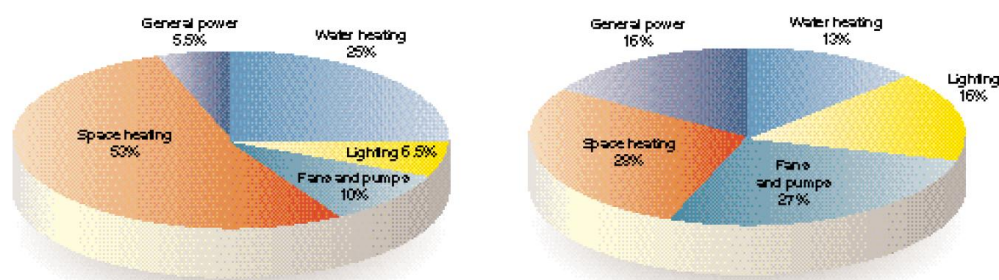


Figure 1
(a) Proportion of energy used in an indoor pool

(b) Cost of energy used in an indoor pool (%)

Εικόνα 2.2.1: Σχηματική απεικόνιση κόστους τυπικής κολυμβητικής δεξαμενής, (Department of the Environment, Transport and the Regions' Energy Efficiency, 1997)

Παραγωγή θερμότητας

Οι βασικές θερμικές ανάγκες μιας κολυμβητικής δεξαμενής συνοψίζονται στη θέρμανση του νερού της πισίνας και του αέρα στο χώρο αυτής. Ο πιο συνηθισμένος

τρόπος είναι μέσω εναλλακτών θερμότητας με χρήση θερμασμένου νερού σε χαμηλή ή μέση θερμοκρασία.

Η βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τον επιδιωκόμενο σκοπό και χρήση της κολυμβητικής δεξαμενής. Τυπικά:

Πίνακας 2.2.1: Συνιστώμενη θερμοκρασία νερού τυπικής κολυμβητικής δεξαμενής ανάλογα με τη χρήση, (Department of the Environment, Transport and the Regions' Energy Efficiency, 1997)

Συνιστώμενη θερμοκρασία λειτουργίας κολυμβητικής δεξαμενής	
Χρήση	Θερμοκρασία (° C)
Άθληση	27
Ερασιτεχνική άθληση	28
Αναψυχή	29
Για παιδιά	30

Παράλληλα έχει αποδειχθεί στην πράξη ότι η θερμοκρασία του αέρα για την περίπτωση μιας κλειστής πισίνας είναι βέλτιστη στους 30° C και η σχετική υγρασία περί το 55%.

2.2.1 Σχεδιαστικά ζητήματα - επιλογή συστήματος θέρμανσης

2.2.1.1 Θέρμανση με συμβατικό σύστημα -επιλογή καυσίμου

Μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους που θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπ' όψη είναι και η επιλογή του καυσίμου και των μέσων παραγωγής θερμότητας. Συγκεκριμένα, η επιτυχής επιλογή εξαρτάται τόσο από τη διαθεσιμότητα και απόδοση του καυσίμου, όσο και από την τιμή του. Παράλληλα ωστόσο, θέματα περιβαλλοντικά, θα πρέπει να απασχολήσουν το μελετητή, στο πλαίσιο μιας συντονισμένης προσπάθειας για τη διατήρηση της αειφορίας, όπως υπαγορεύει και η βασική αρχή του ενεργειακού και βιοκλιματικού σχεδιασμού.

Η συνήθης πρακτική που ακολουθείτο έως τώρα, επιτάσσει θέρμανση του νερού της κολυμβητικής δεξαμενής με πετρέλαιο ή φυσικό αέριο μέσω εναλλακτη θερμότητας, κατάλληλης δυναμικότητας (kcal/h). Ένας συμβατικός τρόπος θέρμανσης αναγείρει τα ακόλουθα μειονεκτήματα:

- ο Επισύρει το κόστος του συμβατικού καυσίμου. Συγκεκριμένα για το φυσικό αέριο, από **1η Οκτωβρίου 2011** η ΕΠΑ εφαρμόζει τη νέα τιμολογιακή πολιτική που βασίζεται πλέον στο κόστος προμήθειας φυσικού αερίου. Συγκεκριμένα, η τιμή χρέωσης ενέργειας του φυσικού αερίου αναθεωρείται σε μηνιαία βάση και προκύπτει από το κόστος προμήθειας φυσικού αερίου της ΕΠΑ Αττικής από τη ΔΕΠΑ (Δημόσια Επιχείρηση Αερίου). Στην τιμή αυτή θα προστίθεται ένα σταθερό περιθώριο διανομής καθώς και οι επιβαλλόμενοι από την Ελληνική Πολιτεία φόροι (ΔΕΤΕ, ΦΠΑ, ΕΦΚ, κλπ.). Συνεπώς:

Τιμή Πώλησης Φυσικού Αερίου = Κόστος προμήθειας Φ.Α. + Περιθώριο Διανομής ΕΠΑ Αττικής + Φόροι

Η νέα τιμολογιακή πολιτική ισχύει για τις καταναλωθείσες ποσότητες από 1/10/2011 και έπειτα, ενώ οι τιμές φυσικού αερίου μέχρι και την τιμή Σεπτεμβρίου 2011 έχουν προκύψει βάσει της τιμολογιακής πολιτικής ανταγωνιστικών καυσίμων. Ενδεικτικά για το 2012 παρατίθεται ο ακόλουθος πίνακας:

Πίνακας 2.2.1.1.1: Πίνακας νέας τιμολογιακής πολιτικής για την κατανάλωση φυσικού αερίου, (Εταιρεία Παροχής Αερίου Θεσσαλονίκης, 2012)

ΤΙΜΟΛΟΓΙΑ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΤΟΜΕΑ – ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ				
ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΕΙΣ 2012				
	Μήνας	Kwh	Συντ. μετατροπής (kWh/Nm ³)	€/m ³
Χρέωση ενέργειας	Ιανουάριος	0,07822	11,5360	0.90234592
	Φεβρουάριος	0,07684	11,7733	0,904660372
	Μάρτιος			
	Απρίλιος			
	Μάιος			
	Ιούνιος			
	Ιούλιος			
	Αύγουστος			
	Σεπτέμβριος			
	Οκτώβριος			
	Νοέμβριος			
	Δεκέμβριος			

*Στις παραπάνω τιμές συμπεριλαμβάνεται 13% ΦΠΑ

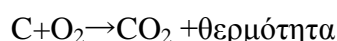
*Στις παραπάνω τιμές συμπεριλαμβάνονται όλοι οι νόμιμοι φόροι ΦΠΑ(13%), ΕΦΚ (από 1/9/11)

Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε μια μέση τιμή 0.9€/m³ με Φ.Π.Α. για το φυσικό αέριο.

- ο Λαμβάνει τη θέρμανση από έναν μεγάλο λέβητα του οποίου η κύρια αποστολή είναι η κεντρική θέρμανση του συγκροτήματος. Επομένως ο λέβητας αυτός έχει αυξημένες απώλειες ενέργειας όταν λειτουργεί υπό μερικό φορτίο για την αποκλειστική εξυπηρέτηση της κολυμβητικής δεξαμενής.
- ο Εφ' όσον υπάρχει απόσταση μεταξύ λέβητα και κολυμβητικής δεξαμενής, συντελούνται απώλειες μεταφοράς θερμότητας σε ένα δίκτυο ανεπαρκούς μόνωσης.

Στο σημείο αυτό γίνεται μία μικρή παρένθεση προκειμένου να αποδοθούν κάποιες έννοιες, χρήσιμες στη συνέχεια.

Μια τυπική αντίδραση καύσης περιλαμβάνει ένα άτομο άνθρακα με δύο άτομα οξυγόνου και παραγωγή θερμότητας, σύμφωνα με την ακόλουθη βασική αντίδραση:



Η παραγόμενη θερμότητα κατά την αντίδραση καύσης είναι γνωστή ως **θερμαντική ικανότητα (ΘΙ) ή θερμογόνος δύναμη (ΘΔ)** του καυσίμου, και εκφράζεται σε μονάδες θερμότητας ανά μονάδα βάρους ή όγκου του καυσίμου (kcal/kg ή BTU/Lb, όπου 1kcal =3,698 BTU).

Η θερμογόνος δύναμη συνήθως παρέχεται για ξηρό καύσιμο. Στην πράξη η υγρασία μειώνει τη θερμογόνο δύναμη των καυσίμων σύμφωνα με την ακόλουθη απλουστευμένη εξίσωση:

$$HV = HV_{\text{dry}} * (1-M) \quad [13]$$

όπου M : η περιεκτικότητα σε υγρασία του καυσίμου.

Επιπρόσθετα, η θερμογόνος δύναμη των καυσίμων μειώνεται με το υψόμετρο. Αναφέρεται ότι, εμπειρικά, η θερμογόνος δύναμη μειώνεται κατά 4% για κάθε αύξηση του υψόμετρου κατά 300m (ΚΑΠΕ, 2005).

Παράλληλα, η θερμογόνος δύναμη επηρεάζεται από τη φάση (υγρή, αέρια) του νερού / ατμού στα προϊόντα της καύσης. Εάν το H₂O είναι σε *υγρή μορφή*, η θερμογόνος δύναμη ονομάζεται **Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη (ΑΘΔ)** ή Μικτή Θερμογόνος Δύναμη (ΜΘΔ).

Όταν το H₂O είναι με *μορφή ατμού*, η θερμογόνος δύναμη καλείται **Κατώτερη ή Καθαρή Θερμογόνος Δύναμη (ΚΘΔ)**.

Η ΑΘΔ προσδιορίζεται εργαστηριακά με χρήση του θερμιδομέτρου, που μετρά τη θερμότητα που αφαιρείται κατά την ψύξη μέχρι μία τυπική θερμοκρασία αναφοράς των προϊόντων της καύσης (25° C). Κατά συνέπεια, περιλαμβάνει τη λανθάνουσα θερμότητα που ανακτάται κατά τη συμπύκνωση του τμήματος του υδρατμού. Αυτός ο υδρατμός σχηματίζεται ως αποτέλεσμα της καύσης κάθε μορίου υδρογόνου που περιέχεται στο καύσιμο και από την εξάτμιση κάθε περιεχόμενης υγρασίας.

Η ΚΘΔ προσδιορίζεται υπολογιστικά, και είναι ίση με την ΑΘΔ μείον τη λανθάνουσα θερμότητα του υδρατμού που σχηματίζεται από την καύση του υδρογόνου και από οποιαδήποτε ποσότητα υγρασίας που είναι παρούσα στα καύσιμα.

Η ΚΘΔ είναι περισσότερο αντιπροσωπευτική της διαθέσιμης στην πράξη θερμότητας, όταν τα καύσιμα καίγονται σε συσκευές όπως οι φούρνοι και οι λέβητες.

Η λανθάνουσα θερμότητα του υδρατμού που περιλαμβάνεται στα καυσαέρια κανονικά δεν είναι ανακτήσιμη, εκτός από τις περιπτώσεις όπου εφαρμόζεται ανάκτηση θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας που περιλαμβάνει συμπύκνωση των υδρατμών.

Η προμήθεια των καυσίμων συνήθως γίνεται βάσει της ΑΘΔ τους και η κατανάλωση ενέργειας της εγκατάστασης εκφράζεται πάντοτε ως προς την ΑΘΔ, συνεπώς είναι σημαντικό να χρησιμοποιείται η ΑΘΔ στις ενεργειακές αναλύσεις εφικτότητας. Οποιοδήποτε προκύπτει ενεργειακό ισοζύγιο θα ποικίλει ανάλογα με τη ΘΔ που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς, και αυτό, στη συνέχεια, θα έχει ως αποτέλεσμα διαφορετικές τιμές του θερμικού βαθμού απόδοσης της εγκατάστασης και του εξοπλισμού καύσης. Επομένως, πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή σε οποιαδήποτε ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων απόδοσης.

2.2.1.2 Εναλλακτικός τρόπος θέρμανσης μέσω ηλιακού συστήματος

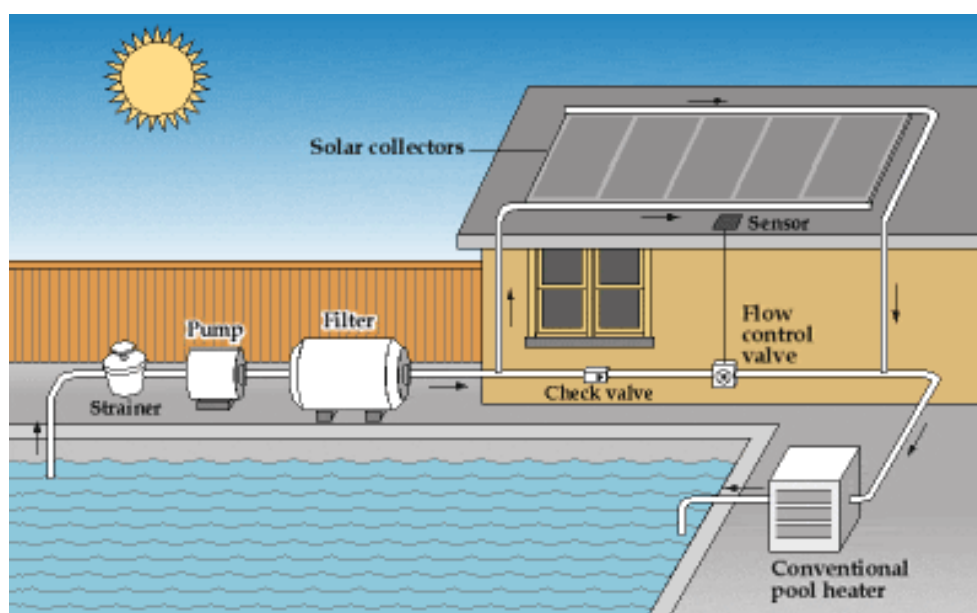
Λαμβάνοντας υπόψη το μεσογειακό κλίμα της χώρας μας, διαπιστώνεται ότι η κολυμβητική περίοδος στην Ελλάδα είναι σημαντικά μεγαλύτερη σε σχέση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Η περίοδος αυτή, ωστόσο, διαφοροποιείται στις διάφορες περιοχές εξ' αιτίας της διακύμανσης των κλιματικών συνθηκών και της ηλιακής ακτινοβολίας. Η μέση διάρκεια της κολυμβητικής περιόδου καλύπτει τους μήνες από Ιούνιο έως Σεπτέμβριο, ενώ σε περίπτωση θέρμανσης της δεξαμενής, αυτή παρατείνεται έως και τρεις μήνες, για παράδειγμα από τον Απρίλιο έως και τον Σεπτέμβριο. Λόγω της υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας

περιβάλλοντος, η θερμοκρασία νερού είναι πάνω από τους 20 °C με αποτέλεσμα να μην είναι αναγκαία η περαιτέρω θέρμανσή της. Σε περίπτωση χρήσης συστήματος θέρμανσης, η χρήση παρατείνεται από τον Απρίλιο έως και το τέλος Οκτωβρίου, ενώ επιπλέον παράταση δεν είναι απαραίτητη αν ληφθεί υπόψη ότι οι εξωτερικές κολυμβητικές δεξαμενές χρησιμοποιούνται όταν οι καιρικές συνθήκες είναι ομαλές.

Συνηθισμένες μέθοδοι που να παρέχουν αυτή την απαιτούμενη θερμότητα είναι:

- ✓ Θερμο – ηλεκτρικά συστήματα (ΘΗΣ), τα οποία παράγουν ταυτόχρονα από την ίδια πηγή καυσίμου και θερμότητα και ηλεκτρισμό.
- ✓ Λέβητες συμβατικοί ή συμπύκνωσης
- ✓ Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η περίπτωση θέρμανσης κολυμβητικής δεξαμενής μέσω ηλιακών συστημάτων.



Εικόνα 2.2.1.2.1: Τυπική συνδεσμολογία για τη θέρμανση πισίνας με ηλιακά (Bonair, 2000)

Η χρήση θερμικών ηλιακών συστημάτων για τη θέρμανση εξωτερικών κολυμβητικών δεξαμενών έχει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των άλλων θερμικών χρήσεων της ηλιακής ενέργειας. Αυτά είναι:

- ✓ Θερμοκρασιακή στάθμη: Η απαιτούμενη θερμοκρασιακή στάθμη είναι συγκριτικά χαμηλή, κυμαινόμενη από 18°C έως 25°C, δίνοντας έτσι τη

δυνατότητα χρήσης ακάλυπτων πλαστικών συλλεκτών, οι οποίοι είναι οικονομικότεροι έναντι των υπολοίπων τύπων συλλεκτών.

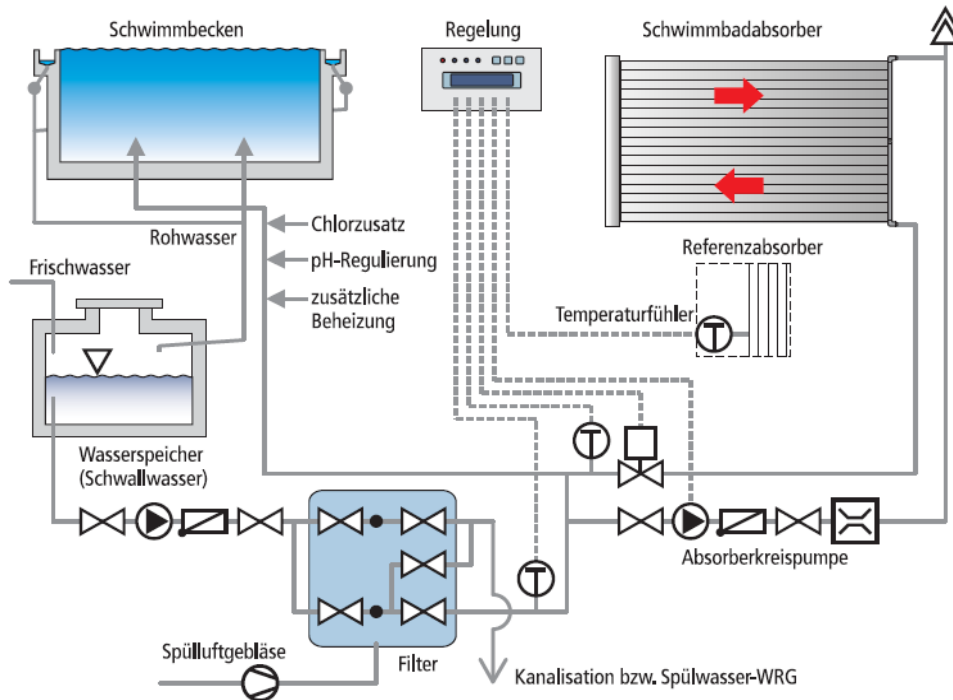
- ✓ Ηλιακή Ακτινοβολία και περίοδος χρήσης: Σε πολλές περιπτώσεις η περίοδος χρήσης του συστήματος συμπίπτει με την περίοδο υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας. Συνήθως, στα γεωγραφικά πλάτη της κεντρικής Ευρώπης, η περίοδος λειτουργίας των κολυμβητικών δεξαμενών ξεκινά στις αρχές / μέσα Απριλίου έως τα μέσα Σεπτεμβρίου. Αυτή την περίοδο, η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας ανέρχεται στο 65 – 75%.
- ✓ Απλότητα συστήματος: Το νερό της κολυμβητικής δεξαμενής ρέει απευθείας μέσα στο συλλέκτη, με αποτέλεσμα να μην απαιτείται η εγκατάσταση δοχείου αποθήκευσης.

Εν γένει η διάταξη είναι παρόμοια με τα όσα περιγράφηκαν πιο πάνω για το ζεστό νερό χρήσης. Ωστόσο, συνοπτικά, ένα ηλιακό σύστημα θέρμανσης πισίνας αποτελείται από τέσσερα μέρη: τους ηλιακούς συλλέκτες, τον εναλλάκτη θερμότητας, το αντλητικό συγκρότημα και τους αυτοματισμούς. Οι ηλιακοί συλλέκτες αφού αποροφήσουν την ακτινοβολία του ήλιου τη μεταδίδουν στο θερμαντικό μέσο (μίγμα νερού-αντιψυκτικού) το οποίο στη συνέχεια με βεβαιασμένη ροή (κυκλοφορητής) πηγαίνει στον εναλλάκτη. Το νερό της πισίνας με τη βοήθεια αντλίας εισέρχεται και αυτό στον εναλλάκτη με αποτέλεσμα να υπάρχει ροή θερμότητας από το θερμικό μέσο στο νερό της πισίνας. Έτσι λοιπόν η ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται σε ωφέλιμη θερμική ενέργεια για θέρμανση της πισίνας.

Σύστημα χωρίς εφεδρικό σύστημα θέρμανσης

Τα ηλιακά συστήματα σε ανοιχτές κολυμβητικές δεξαμενές, δημόσιας χρήσης, λειτουργούν με ένα ξεχωριστό ηλιακό σύστημα ή με σύστημα αντλίας και συλλέκτη. Η υδραυλική τους κατασκευή είναι πιο σύνθετη από εκείνη των αντίστοιχων ιδιωτικών κολυμβητικών δεξαμενών, κυρίως για λόγους υγιεινής και ασφάλειας. Ένα σύστημα σε ανοιχτές κολυμβητικές δεξαμενές μεγάλης κλίμακας ακολουθεί την εξής αρχή: Το νερό από την υπερχειλίση της κολυμβητικής δεξαμενής οδηγείται σε μία *κεντρική δεξαμενή αποθήκευσης*, η οποία χρησιμεύει και για τον έλεγχο της στάθμης του νερού όλου του συστήματος. Στη δεξαμενή αυτή, το νερό που εξατμίζεται συμπληρώνεται με καθαρό νερό. Ανάλογα με το σχεδιασμό του συστήματος, μία ή περισσότερες παράλληλα συνδεδεμένες αντλίες διοχετεύουν το νερό της δεξαμενής

στο φίλτρο, το οποίο, κατόπιν, επιστρέφει στην κολυμβητική δεξαμενή μέσω του συστήματος επεξεργασίας νερού.



Εικόνα 2.2.1.2.2: Διάγραμμα κυκλώματος ενός συστήματος συλλεκτών μεγάλης κλίμακας και συνδεσμολογία για τη θέρμανση πισίνας με ηλιακά (Solpool project consortium, 2008)

Οι συλλέκτες βρίσκονται συνδεδεμένοι κατάντη του συστήματος επεξεργασίας νερού. Η αντλία του ηλιακού κυκλώματος εκτρέπει μέρος της ογκομετρικής ροής και την αντλεί στους συλλέκτες. Το μέγεθος της μερικής ογκομετρικής ροής εξαρτάται από το μέγεθος των συλλεκτών. Μετά την εκτροπή, το ηλιακά θερμασμένο νερό οδηγείται ξανά στην κεντρική ροή και τελικώς, καταλήγει πίσω στην κολυμβητική δεξαμενή. Είναι απαραίτητη η εγκατάσταση μιας μηχανοκίνητης βαλβίδας στο κύκλωμα που τροφοδοτεί τον συλλέκτη και μιας βαλβίδας αντεπιστροφής μετά την ηλιακή αντλία. Οι δύο αυτές βαλβίδες εξασφαλίζουν τη διατήρηση επαρκούς ποσότητας νερού στο συλλέκτη, ακόμη και όταν το σύστημα βρίσκεται εκτός λειτουργίας. Η τήρηση των κανόνων υγιεινής και ασφάλειας προτού το νερό πληρώσει την κολυμβητική δεξαμενή είναι καθοριστικής σημασίας. Χλώριο και άλλα χημικά εισάγονται στο νερό προκειμένου να ρυθμίσουν το pH του. Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη χλωρίωση του συστήματος, καθώς η συγκέντρωση του χλωρίου στο κύκλωμα του συλλέκτη δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 0.6 mg/l. Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις χλωρίου ενδέχεται να καταστρέψουν τους συλλέκτες. Στην περίπτωση που

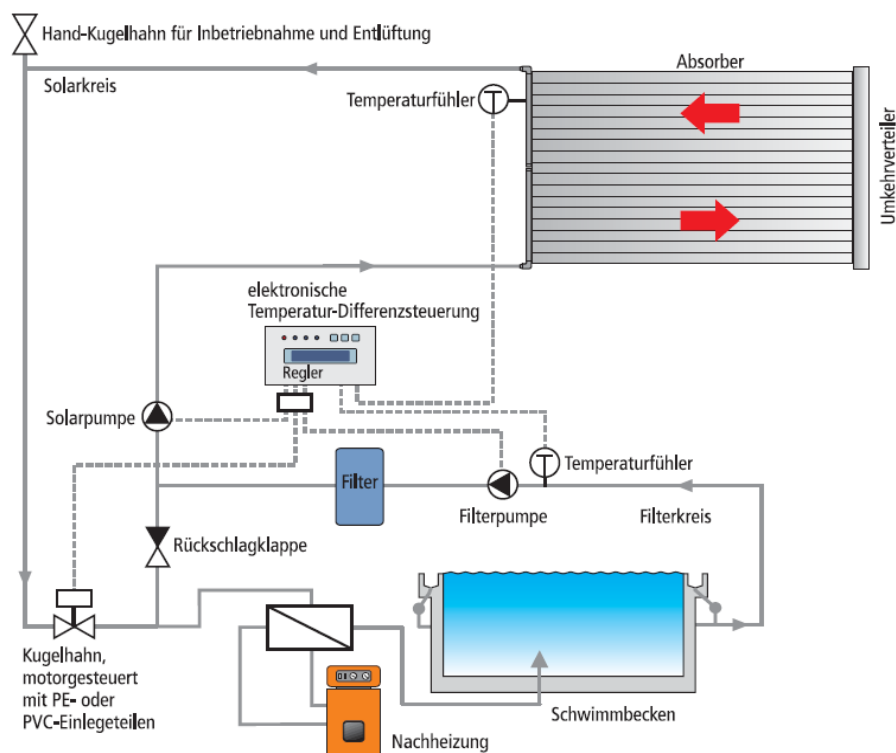
χρησιμοποιηθούν επίπεδοι συλλέκτες, το νερό της δεξαμενής δεν ρέει μέσα από αυτούς. Το ηλιακό κύκλωμα διαχωρίζεται από το κύκλωμα της κολυμβητικής δεξαμενής μέσω εναλλάκτη θερμότητας.

Για την περίπτωση των ιδιωτικών πισινών το σύστημα είναι απλούστερο. Υπάρχει μόνο κύκλωμα αντλίας. Το νερό από την υπερχειλίση τροφοδοτεί την κεντρική δεξαμενή αποθήκευσης, όπου η στάθμη ελέγχεται και η ποσότητα που εξατμίζεται πληρώνεται όμοια με επάνω. Το νερό οδηγείται από τη δεξαμενή στο σύστημα επεξεργασίας μέσω της αντλίας. Εκεί η θερμοκρασιακή στάθμη του νερού ελέγχεται και αν κριθεί απαραίτητο οδηγείται στους συλλέκτες μέσω τρίοδης βαλβίδας, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, χωρίς όμως τη χρήση επιπρόσθετης αντλίας.

Υβριδικά συστήματα

Όταν απαιτείται διατήρηση της θερμοκρασίας του νερού της κολυμβητικής δεξαμενής σε σταθερή τιμή, τότε είναι απαραίτητη η ύπαρξη συμβατικού δευτερεύοντος συστήματος θέρμανσης, ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες θέρμανσης σε περιπτώσεις ανεπαρκούς ηλιοφάνειας.

Το δευτερεύον σύστημα θέρμανσης είναι ένα συμβατικό σύστημα με καυστήρα πετρελαίου ή φυσικού αερίου και έναν επιπρόσθετο εναλλάκτη θερμότητας. Σε ένα σύστημα διπλής θέρμανσης, το δευτερεύον σύστημα λειτουργεί υποστηρικτικά της ηλιακής θέρμανσης. Εάν η θερμοκρασία του νερού μετά από την κυκλοφορία του στο ηλιακό κύκλωμα δεν είναι η επιθυμητή, το δευτερεύον σύστημα θέρμανσης καλύπτει τις επιπρόσθετες ανάγκες θέρμανσης.



Εικόνα 2.2.1.2.3: Διάγραμμα κυκλώματος ενός υβριδικού συστήματος και συνδεσμολογία για τη θέρμανση πισίνας με ηλιακά. (Solpool project consortium, 2008)

2.3 Η ελληνική αγορά ηλιακών συστημάτων

Η διάδοση των ηλιακών συστημάτων στην Ελλάδα ξεκίνησε το 1974. Η χώρα μας θεωρείται από τις πιο ευνοημένες σε ό,τι αφορά τις κλιματολογικές συνθήκες, τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε Παγκόσμιο επίπεδο. Ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί σημαντική εξαγωγική δραστηριότητα. Οι Έλληνες κατασκευαστές έχουν βελτώσει τόσο την απόδοση όσο και την αξιοπιστία που πιστοποιείται και από τα αποτελέσματα δοκιμών κατά EN και τα πιστοποιητικά κατά SolarKeymark που διαθέτουν.

Σήμερα στην Ελλάδα υπάρχουν 2,8 GWth εγκατεστημένης ισχύος. Τα περισσότερα συστήματα είναι ηλιακοί θερμοσίφωνες που αποτρέπουν την εκπομπή 2 εκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του άνθρακα κάθε χρόνο. Η βιομηχανία του κλάδου παρουσιάζει ετήσιο κύκλο εργασιών της τάξης των 300.000.000€, εξασφαλίζοντας έτσι 3500 θέσεις εργασίας πλήρους απασχόλησης.

Σε ό,τι αφορά τη μελλοντική ανάπτυξη και δυνητική αγορά, η Ευρωπαϊκή Ένωση και τα κράτη μέλη δεσμεύτηκαν να αυξήσουν το μερίδιο των ΑΠΕ σε 20% έως το 2020. Καθώς η θερμότητα αποτελεί το 50% περίπου της τελικής χρήσης ενέργειας

στην Ευρώπη, σημαίνει ότι το μερίδιο της θερμότητας από ΑΠΕ (βιομάζα, γεωθερμία, ηλιακή ενέργεια) πρέπει να αναπτυχθεί ιδιαίτερα για να συμβάλει στην επίτευξη του στόχου. Ανάμεσα σε εφαρμογές βαθιάς γεωθερμίας, η οποία ως επί το πλείστον περιορίζεται σε θέσεις υψηλού δυναμικού, η αβαθής γεωθερμία ως τεχνολογία ενεργειακής αποδοτικότητας, η βιομάζα για την παραγωγή βιοκαυσίμων, ηλεκτροπαραγωγή και εφαρμογές μέσω και υψηλών θερμοκρασιών, ως επίσης και τα ηλιακά θερμικά συστήματα κατέχουν ήδη μεγάλη συμμετοχή.

Με πρωτοβουλία της ESTIF ολοκληρώθηκε μια μελέτη για το μακροχρόνια δυναμική αγορά ηλιακής ενέργειας. Η εργασία βασίστηκε στη λεπτομερή μελέτη πέντε αντιπροσωπευτικών ευρωπαϊκών αγορών και την εφαρμογή των ευρημάτων και στις υπόλοιπες. Αξιολογήθηκαν τόσο οι τεχνολογικές όσο και οι οικονομικές δυνατότητες των διάφορων εφαρμογών.

Για να καθορισθεί το ποσοστό συμμετοχής των ηλιακών θερμικών στη ζήτηση θερμότητας στις επιλεγμένες χώρες αναφοράς, χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο για τη μελλοντική ζήτηση ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη και τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας. Βάσει αυτού του μοντέλου, υπολογίστηκαν οι ανάγκες για θερμότητα και ψύξη για τα έτη 2020,2030 και 2050. Το μοντέλο περιλαμβάνει τρία σενάρια και είναι επικεντρωμένο στους ακόλουθους τομείς:

- Θέρμανση χώρου κατοικιών
- Ζεστό νερό οικιακού τομέα
- Θέρμανση χώρου σε επαγγελματικά κτίρια
- Θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών για βιομηχανική χρήση (<250°C)
- Κλιματισμός και ψύξη στον οικιακό τομέα και στο τομέα των υπηρεσιών

Τα τρία σενάρια ήταν τα ακόλουθα:

- Συνέχιση της παρούσας κατάστασης (BAU)
- Ανάπτυξη αγοράς και δυναμικής προώθησης (AMD), που περιλαμβάνει μηχανισμούς οικονομικής και πολιτικής υποστήριξης, όπως επιδοτήσεις, υποχρεώσεις εφαρμογής και βελτιωμένες δράσεις ανάπτυξης
- Σενάριο πλήρους αξιοποίησης πολιτικής και έρευνας και ανάπτυξης (RDP), που περιλαμβάνει σημαντικούς οικονομικές και πολιτικές στήριξης τόσο της αγοράς όσο και της έρευνας και ανάπτυξης.

Η συμμετοχή των ηλιακών θερμικών στο στόχο του 20%, υποθέτοντας μείωση 9% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας λόγω εφαρμογής μέτρων εξοικονόμησης

έως το 2020 σε σχέση με το 2006, θα ήταν 6,3% με βάση το RDP σενάριο και 2.4% με βάση το λιγότερο αισιόδοξο σενάριο AMD.

Σε σχέση με το συνολικό στόχο του 11,5% αύξηση από όλες τις ΑΠΕ (8,5% το μερίδιο των ΑΠΕ το τέλος του 2005) η συνεισφορά των ηλιακών θερμικών θα ήταν 12% με βάση το RDP σενάριο, 4.5% με βάση το AMD και μόλις 2.9% με βάση το BAU σενάριο.

Αν επιτευχθεί ο στόχος του δυναμικού σεναρίου RDP προβλέπεται μέση ετήσια αύξηση της ευρωπαϊκής αγοράς κατά 26% όταν για το AMD προβλέπεται 15% και για το BAU 7% αύξηση έως το 2020. Αυτό σημαίνει ότι το πεδίο των εγκατεστημένων ηλιακών συλλεκτών θα είναι μεταξύ των 97 εκατομμυρίων (BAU) ως 388 εκατομμυρίων τετραγωνικών μέτρων (RDP). Η αντίστοιχη ισχύς είναι από 67.9 GWth έως 271.6 GWth.

Οικονομικές συνέπειες:

Σύμφωνα με το RDP, το αναμενόμενο αποτέλεσμα στο τομέα της απασχόλησης θα είναι σημαντικό. Συνολικά 450.000 θέσεις εργασίας θα σχετίζονται με τον κλάδο της ηλιακής θερμότητας μέχρι το 2020, αριθμός ο οποίος θα αφορά μόνο την εσωτερική αγορά της Ευρώπης. Η συνολική επένδυση που απαιτείται για να επιτευχθεί αυτό το σενάριο υπολογίζεται σε 214 δισεκατομμύρια ευρώ. Αυτό περιλαμβάνει την παραγωγή, σχεδιασμό και εγκατάσταση των ηλιακών θερμικών συστημάτων που θα εγκατασταθούν από το 2006 έως το 2020.

Η ενέργεια που θα αποδίδεται το 2020 υπολογίζεται σε 155 TWh. Η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τα ηλιακά συστήματα θα είναι 69 εκατομμύρια τόνοι.

Μέχρι το 2050 η συμμετοχή των θερμικών ηλιακών συστημάτων θα φτάσει έως το 47% με βάση το RDP ή μόλις 8% με βάση το BAU σενάριο και θα αντιστοιχούν 8 ή 2 τετραγωνικά μέτρα συλλέκτη ανά κάτοικο αντίστοιχα.

Για να επιτευχθεί η σημαντική συνεισφορά των θερμικών ηλιακών στην καταναλισκόμενη ενέργεια για θερμότητα και ψύξη, επόμενος στόχος είναι η διάδοση των συστημάτων για ηλιακή θέρμανση στις χώρες της Κεντρικής και Βόρειας Ευρώπης και σε συστήματα που συνδυάζουν θέρμανση-ζεστό νερό και κλιματισμό για τις χώρες της Μεσογείου.

Ένας άλλος σημαντικός τομέας ανάπτυξης είναι η θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών για τη βιομηχανία.

2.4 Γεωθερμία

2.4.1 Εισαγωγή – θεωρητικό υπόβαθρο αβαθούς γεωθερμίας

Ως γεωθερμία χαρακτηρίζεται η ενέργεια που εκμεταλλεύεται ο άνθρωπος από τα επιφανειακά ή βαθύτερα στρώματα των γεωλογικών σχηματισμών και του επιφανειακού ή υπογείου υδροφόρου ορίζοντα της Γης. Η ενέργεια που προέρχεται από τα επιφανειακά στρώματα ονομάζεται *αβαθής γεωθερμία*, ενώ από τα έγκατα της Γης, *γεωθερμικό δυναμικό*.

Η διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας για θέρμανση εσωτερικών χώρων του κτιρίου, ως επίσης και για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης ή τη θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής, που αποτελεί και το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής θέσης, είναι μια ιδιαίτερα ενεργοβόρα διαδικασία. Με δεδομένο ότι το 46% περίπου της ηλιακής ενέργειας απορροφάται από το έδαφος, η γεωθερμία υπόσχεται να συμβάλλει δυναμικά σε μια τέτοια ενεργειακή απαίτηση. Επιπρόσθετα, η γεωθερμία δε χρειάζεται να «έρθει από μακριά», αλλά είναι διαθέσιμη επιτόπου και σε μεγάλες ποσότητες.

Ο φλοιός της Γης απορροφά ένα αρκετά μεγάλο ποσό της ενέργειας από τον ήλιο σε μορφή θερμότητας. Καθώς το έδαφος μεταφέρει αργά τη θερμότητά του και έχει μεγάλη αποθηκευτική ικανότητα, η θερμοκρασία του μεταβάλλεται πολύ αργά – σε επίπεδο μηνών ή ετών, ανάλογα με το βάθος της μέτρησης. Τα μερικά μέτρα εδάφους που μεσολαβούν από την επιφάνεια της γης μέχρι τον υπόγειο ορίζοντα, διαδραματίζουν ρόλο μονωτικού στρώματος, μειώνοντας το εύρος της θερμοκρασιακής μεταβολής σε σχέση με αυτήν που συντελείται μεταξύ επιφάνειας εδάφους και υπερκείμενου αέρα. Συνεπώς η Γη είναι θερμότερη από τον περιβάλλοντα αέρα το χειμώνα και δροσερότερη από αυτόν το καλοκαίρι. Ως συνέπεια αυτής της μικρής θερμικής αγωγιμότητας, το έδαφος μπορεί να διατηρήσει και να διαθέσει προς αξιοποίηση το χειμώνα, τη θερμότητα που συνέλεξε από τη θερινή περίοδο.

Μια γεωθερμική αντλία θερμότητας (GSHP) είναι επιφορτισμένη με το να μετατρέπει την ενέργεια της Γης (θερμότητα) σε αξιοποιήσιμη μορφή, κατάλληλη για θέρμανση ή ψύξη. Η φιλοσοφία λειτουργίας ενός γεωθερμικού συστήματος βασίζεται ουσιαστικά στην ανταλλαγή θερμικών και ψυκτικών φορτίων μεταξύ εδάφους και χώρου. Η γεωθερμική αντλία θερμότητας δύναται να μεταφέρει οποιοδήποτε ενεργειακό φορτίο. Κατά τη χειμερινή περίοδο απορροφά από το έδαφος ένα υψηλό για την εποχή θερμικό φορτίο και το αποδίδει στο χώρο, ενώ κατά την περίοδο του

καλοκαιριού μεταφέρει το ενεργειακό φορτίο από τον κλιματιζόμενο χώρο προς το έδαφος με στόχο την ψύξη της εγκατάστασης.

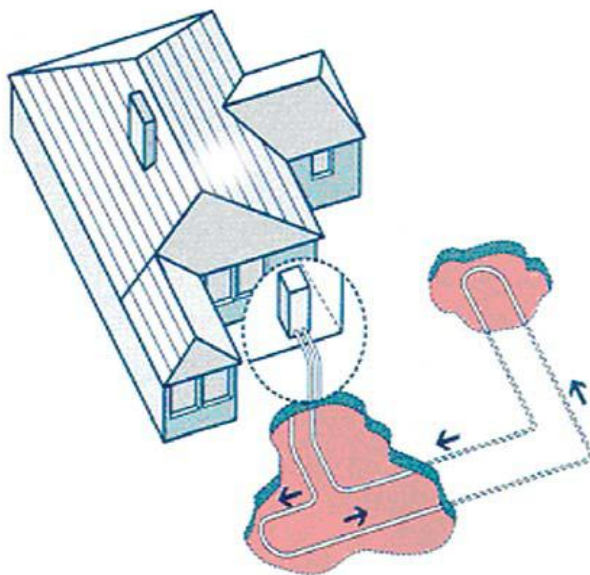
Λόγω της χαμηλής κατανάλωσης σε ηλεκτρική ενέργεια και της ελάχιστης συντήρησης του εξοπλισμού, με επιπρόσθετο πλεονέκτημα το γεγονός ότι δεν παράγονται ευθέως προϊόντα καύσης, αλλά γίνεται εκμετάλλευση ενός υφιστάμενου και δωρεάν ενεργειακού αποθέματος, μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας περί το 30-70% σε θέρμανση και 20-50% σε ψύξη.

Η εκμετάλλευση του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα για θέρμανση – ψύξη ενός χώρου συνιστά ξεχωριστή κατηγορία υδρογεωτρήσεων, όπου η χορήγηση άδειας εκμετάλλευσης του υδροφορέα δεν υπόκειται στην υφιστάμενη νομοθεσία περί υδρευτικών ή αρδευτικών γεωτρήσεων.

2.4.2 Τα μέρη ενός γεωθερμικού συστήματος

Μέρη από τα οποία αποτελείται ένα σύστημα γεωθερμίας είναι τα ακόλουθα:

1. Αντλία θερμότητας
2. Σύνδεση με τη Γη
3. Εσωτερικό του κτιρίου σύστημα διανομής θέρμανσης – ψύξης



Εικόνα 2.4.2.1: Σχηματική απεικόνιση των τμημάτων ενός τυπικού γεωθερμικού συστήματος,

(www.retscreen.com)

2.4.2.1 Αντλία θερμότητας

Μεταφέρει τη θερμότητα μέσω μιας σύνδεσης με τη Γη προς το δίκτυο διανομής εσωτερικά του κτιρίου. Όπως ακριβώς και ένα σύστημα κλιματισμού ή ένα ψυγείο απαιτεί ηλεκτρική ενέργεια για να λειτουργήσει, έτσι και η γεωθερμική αντλία, συνήθως λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια για να απορροφήσει και να μεταδώσει την ενέργεια. Εμπειρικά, για κάθε 1kW χρησιμοποιούμενης ηλεκτρικής ενέργειας, η αντλία δύναται να τραβήξει περίπου 3kW ανανεώσιμης ενέργειας από το έδαφος. Μία αντλία θερμότητας μπορεί να έχει δυναμικό από 3,5-35kW. Για μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις θα πρέπει να τοποθετηθούν περισσότερες αντλίες.

Η γεωθερμική αντλία εκπονεί τον ίδιο κύκλο όπως και ένα ψυγείο: μεταφέρεται δηλαδή η υφιστάμενη θερμότητα από ένα χώρο χαμηλότερης θερμοκρασίας σε ένα χώρο υψηλότερης θερμοκρασίας. Το ψυγείο απάγει τη θερμότητα από έναν πιο κρύο εσωτερικό χώρο σε έναν πιο θερμό εξωτερικό χώρο, με σκοπό την ψύξη του πρώτου. Αντίστοιχα η γεωθερμική αντλία απάγει τη θερμότητα από έναν χώρο σχετικά χαμηλότερης θερμοκρασίας -υπέδαφος- προς έναν υψηλότερης με σκοπό τη θέρμανση του δεύτερου (ανύψωση θερμότητας). Η διαδικασία περιλαμβάνει έναν κύκλο εξάτμισης, συμπίεσης, συμπύκνωσης και εκτόνωσης.

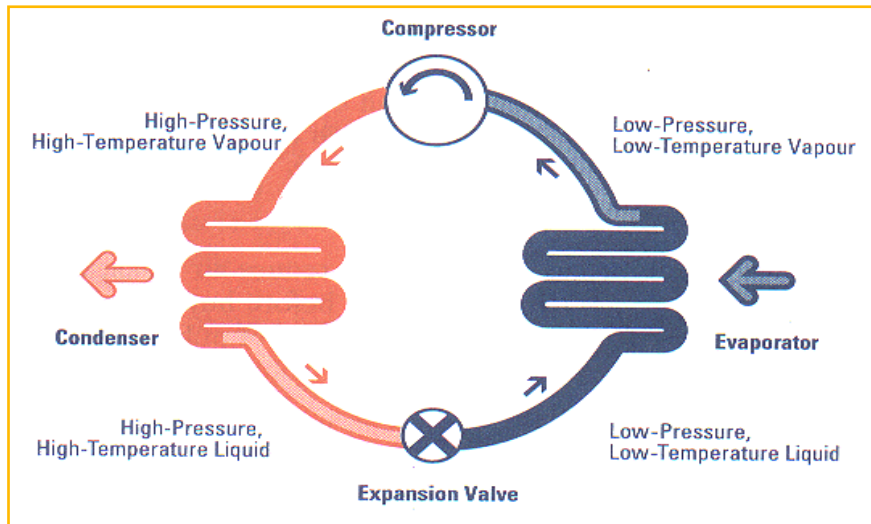
Το ψυκτικό υγρό, που κυκλοφορεί μέσα στην αντλία θερμότητας, χρησιμοποιείται ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας. Καθώς όμως από το δεύτερο αξίωμα της Θερμοδυναμικής, η θερμότητα δύναται να ρέει μόνο από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σώμα, και εφ' όσον η αντλία βρίσκει θερμότητα αντίστοιχης θερμοκρασίας της τάξης των 5^ο C εντός του εδάφους, θα πρέπει μέσω κατάλληλου κύκλου να τη μετατρέψει σε θερμότητα «μεγαλύτερης θερμοκρασίας». Ακόμη και εάν η θερμοκρασία του εδάφους ήταν τόσο μεγάλη ώστε να μπορεί να ρέει η θερμότητα βάσει του 2^{ου} θερμοδυναμικού αξιώματος, θα έπρεπε να μεσολαβεί και πάλι η γεωθερμική αντλία, ούτως ώστε να διασφαλίζεται ότι ο ρυθμός με τον οποίο θα συντελείται η ροή θα είναι και ο επιθυμητός.

Εάν η θέρμανση είναι το τελικό επιθυμητό αποτέλεσμα, η αντλία δουλεύει ως εξής: η θερμότητα που φέρει το ρευστόν μέσον που κυκλοφορεί στο σύστημα σύνδεσης με το υπέδαφος απορροφάται από έναν εναλλάκτη, ο οποίος καλείται «εξατμιστής». Από την άλλη πλευρά του εναλλάκτη - εξατμιστή υπάρχει αντιψυκτικό μέσο σε υγρή μορφή. Επειδή αυτό βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από το ρευστό μέσον, το οποίο ρέει μέσα στο σύστημα σύνδεσης με τη Γη, θα απορροφήσει τελικά τη θερμότητα και συνεπώς το αντιψυκτικό θα εξατμιστεί και άρα τελικώς θα ψυχθεί. Ως

αέριο πλέον, χαμηλής πίεσης και θερμοκρασίας, το αντιψυκτικό περνά σε ένα ηλεκτρικά υποκινούμενο έμβολο **συμπίεσης**. Κατά τη συμπίεση του αντιψυκτικού θα αυξηθεί η πίεσή του και τελικώς η θερμοκρασία του. Από το έμβολο συμπίεσης επομένως εξέρχεται ένα υψηλής πίεσης, αέριας μορφής μέσον το οποίο εισέρχεται σε έναν δεύτερο εναλλάκτη, ο οποίος καλείται **συμπυκνωτής**. Σε συστήματα νερού – αέρος, ένας «**ανεμιστήρας**» προωθεί τον προς θέρμανση αέρα στο σημείο εξόδου. Καθώς το αντιψυκτικό είναι πλέον θερμότερο από τον αέρα του μεταδίδει τη θερμότητά του. Καθώς χάνει θερμότητα το αντιψυκτικό, η θερμοκρασία του μειώνεται και ως εκ τούτου συμπυκνώνεται σε υγρή μορφή. Το υγρό πλέον αντιψυκτικό περνά από μία πύλη – **βαλβίδα εκτόνωσης**. Η βαλβίδα εκτόνωσης αναλαμβάνει να του μειώσει την πίεση και συνεπώς να μειώσει και τη θερμοκρασία του σημαντικά. Το χαμηλής πλέον θερμοκρασία υγρό ρέει πάλι προς την αρχική του θέση, αυτήν του εναλλάκτη – εξατμιστή, ώστε να ξαναρχίσει ο κύκλος.

Μία βασική διαφορά μεταξύ αντλίας θερμότητας και αντιψυκτικού είναι ότι η πρώτη δύναται να λειτουργεί και προς τις δύο κατευθύνσεις. Για την περίπτωση επομένως που επιθυμητή είναι η ψύξη ως τελικό αποτέλεσμα, θα έχουμε το σύστημα σύνδεσης Γης με αντιψυκτικό να λειτουργεί ως συμπυκνωτής και το σύστημα εναλλαγής μεταξύ αντιψυκτικού – αέρα να λειτουργεί ως εξατμιστής. Για τον σκοπό αυτόν υπεισέρχεται μια βαλβίδα αντεπιστροφής στην αντλία θερμότητας.

Για την περίπτωση που ο τελικός αποδέκτης της θερμότητας επιθυμούμε να είναι το νερό χρήσης, δύναται ορισμένες φορές να παρεμβάλλεται στο σύστημα ένας μικρός βοηθητικός εναλλάκτης, στο σημείο εξόδου του εμβόλου συμπίεσης. Βασικός του ρόλος είναι η απορρόφηση της περίσσειας θερμότητας από το συμπιεσμένο αέριο και η μετάδοσή του σε νερό το οποίο καταλήγει σε μια δεξαμενή αποθήκευσης, χωρίς να είναι απαραίτητο να τελεστεί ολόκληρος ο ανωτέρω περιγραφόμενος κύκλος.



Εικόνα 2.4.2.1.1: Σχηματική απεικόνιση του θερμοδυναμικού κύκλου μιας αντλίας θερμότητας, (www.retscreen.net/Course_gshp.ppt)

2.4.2.2 Σύνδεση με τη Γη

Το σύστημα σύνδεσης είναι εκείνο που θα μεταφέρει τη θερμότητα από το υπέδαφος, όπου και αναπτύσσεται, προς την αντλία θερμότητας. Τέτοιου είδους συστήματα δύνανται να χρησιμοποιούν το υπεδαφος ή το νερό του υπόγειου υδροφορέα ως «δεξαμενή» θερμότητας. Διακρίνονται σε *κλειστού και ανοιχτού τύπου*.

Σε *κλειστού τύπου* γεωθερμικά συστήματα (Ground-Coupled Heat Pumps, GCHPs) ένα αντιψυκτικό μίγμα, νερό ή κάποιο άλλο κατάλληλο ρευστό μέσον, μεταφέρει τη θερμότητα από και προς το έδαφος μέσω ενός συστήματος τεχνητής ανακυκλοφορίας, το οποίο λαμβάνει τη μορφή βρόχου.

Τα *ανοιχτού τύπου* συστήματα (Groundwater Heat Pumps, GWHPs), αντλούν το νερό από κάποιο πηγάδι ή υδάτινο σώμα, μεταδίδουν τη θερμότητά από ή προς αυτό (θέρμανση – ψύξη αντίστοιχα) και τέλος το απορρίπτουν πίσω στο υδάτινο σώμα. Το γεγονός όμως αυτό προϋποθέτει την ύπαρξη υπόγειου υδροφορέα και μάλιστα σχετικά ψηλά, ούτως ώστε να είναι όσο το δυνατό πιο οικονομική η διάνοιξη των γεωτρήσεων.

Κλειστού τύπου - Ground-Coupled Heat Pumps (GCHPs)

Σε ένα κλειστό σύστημα ένα ρευστό μέσον μετάδοσης θερμότητας κυκλοφορεί. Το μέσον δεν εξέρχεται ποτέ του συστήματος, αλλά ανακυκλοφορείται συνεχώς μεταξύ υπεδάφους και αντλίας θερμότητας. Το μέσον αυτό δύναται να είναι είτε νερό είτε αντιψυκτικό υγρό (προτιμητέο αν υπάρχει κίνδυνος συνθηκών παγετού). Επιλέγεται

είτε κατακόρυφη και εις βάθος διάταξη γεωτρήσεων, είτε οριζόντια αλλά ικανού και πάλι βάθους, ώστε να συντελούνται οι θερμοκρασιακές προϋποθέσεις. Όπου το βραχώδες υπόστρωμα είναι κοντά στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους και το κτίριο είναι ογκώδες, είναι προτιμητέα η κατακόρυφη διάταξη ούτως ώστε να υπάρχει η ελάχιστη δυνατή διατάραξη πεδίου. Επίσης, για την περίπτωση που το αποτύπωμα του καννάβου των γεωτρήσεων πρέπει να περιοριστεί εξ' αιτίας μικρής διαθεσιμότητας υπεδάφιας κάλυψης. Οι κατακόρυφοι βρόχοι είναι εν γένει πιο ακριβοί σε σχέση με τους οριζόντιους, απαιτούν δε λιγότερες γεωτρήσεις εξ' αιτίας της μικρότερης διακύμανσης της θερμοκρασίας. Τα βάθη σε αυτήν την περίπτωση φτάνουν τα 45-150m και οι σωληνώσεις τοποθετούνται σε μορφή U. Μετά τη διάνοιξη και την τοποθέτηση του σωλήνα, η γεώτρηση πληρώνεται με υλικό και ενεματώνεται. Το τσιμεντένεμα στεγανοποιεί τη γεώτρηση, προφυλλάσσοντάς την από την είσοδο επιφανειακών υδάτων και αποτρέποντας την έξοδο του νερού του υδροφορέα μέσω υπερχειλίσης προς γείτονα οπή. Οι κατακόρυφες σωλήνες ενώνονται στην κεφαλή τους με οριζόντιες, οι οποίες θα συγκοινωνούν με την αντλία θερμότητας μεταφέροντας το ρευστό σε αυτές.

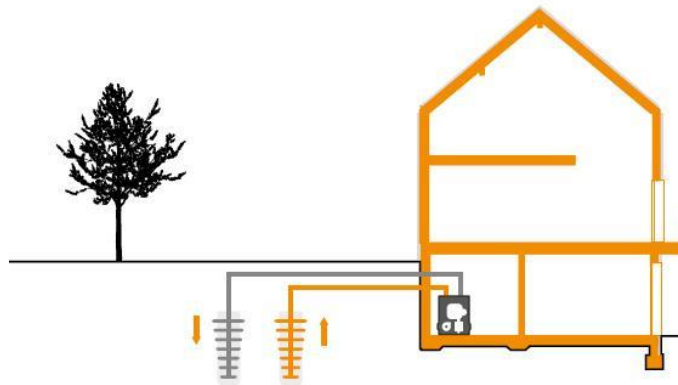
Για οριζόντια διάταξη, το αποτύπωμα είναι εκτενέστερο. Είναι προτιμητέο για μικρές εφαρμογές, σε επίπεδο κατοικίας ή για μικρής κλίμακας εμπορική χρήση. Συνήθως οι σωλήνες τοποθετούνται σε τάφρο που εκτείνεται 1-2m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Τυπικά απαιτούνται 35-55m σωλήνα για κάθε 1kW εκμεταλλεύσιμου γεωθερμικού δυναμικού. Επιπρόσθετα, όταν οι διαθέσιμες εκτάσεις είναι περιορισμένες, ο τύπος «σπιράλ» είναι προτιμητέος, μειώνοντας την απαιτούμενη έκταση γης, αυξάνοντας όμως το κόστος των σωλήνων.

Η μορφή της διάταξης των σωληνώσεων μπορεί να είναι ευθεία, κωνική ή ελικοειδής («σπιράλ»).

Για εγκαταστάσεις που εκμεταλλεύονται τον περιβάλλοντα χώρο η τοποθέτηση του γεωσυλλέκτη μπορεί να πραγματοποιείται σε ένα ή πολλά επίπεδα, πρακτική που ακολουθείται όταν δεν υπάρχει επαρκής περιβάλλοντας χώρος. Η απόσταση μεταξύ των επιπέδων συνήθως καθορίζεται από τη θερμική συμπεριφορά του εδάφους και συνήθως δεν ξεπερνά το 1m.

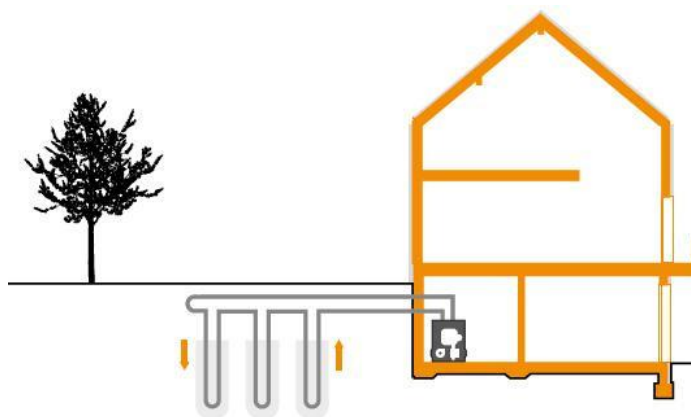
- Η εφαρμογή ενός κλειστού κωνικού συστήματος δύναται να μειώσει την κάλυψη που απαιτείται στην περίπτωση ενός οριζοντίου συστήματος και επιπλέον αποφεύγεται το κόστος ενός κάθετου συστήματος. Το κωνικό σχήμα προσδιορίζεται σύμφωνα με τη διάχυση της θερμότητας στο υπέδαφος. Το

κωνικό σύστημα υπερτερεί του κυλινδρικού διότι δεν επιτρέπει τη θερμική συμφόρηση του εδάφους κατά άξονα κάθετο και βοηθά στην απαγωγή και απορρόφηση του ενεργειακού φορτίου. Το ελάχιστο βάθος τοποθέτησης του εκάστοτε κώνου είναι τα 3,5m από την επιφάνεια του εδάφους.



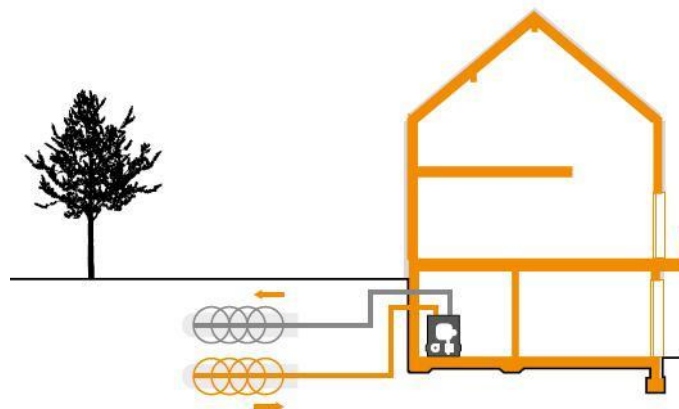
Εικόνα 2.4.2.2.1: Σχηματική απεικόνιση κωνικού συστήματος γεωσυλλεκτών, (Aid Engineering, 2012)

- Στην περίπτωση τοποθέτησης ενός κλειστού κάθετου σε ευθεία διάταξη συστήματος, υπάρχει η σταθερότερη διακύμανση της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται ο υψηλότερος συντελεστής απόδοσης και η μικρότερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στη γεωθερμική αντλία θερμότητας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Το κάθετο κλειστό σύστημα αποτελεί ωστόσο την ακριβότερη λύση κατασκευαστικά, εξ' αιτίας των πολυάριθμων κάθετων οπών που θα απαιτηθούν.



Εικόνα 2.4.2.2.2: Σχηματική απεικόνιση κατακόρυφου συστήματος γεωσυλλεκτών τύπου U, (Aid Engineering, 2012)

- Στο οριζόντιο σύστημα ο γεωσυλλέκτης τοποθετείται σε μορφή «σπирάλ». Πρόκειται για ένα σύστημα πεπλατυσμένων, ελικοειδούς μορφής, αναδιπλούμενων σωλήνων, το οποίο μπορεί να συγκεντρώνει τη θερμότητα σε πολύ μικρό όγκο και ως εκ τούτου απαιτεί μικρότερο αποτύπωμα εγκατάστασης. Ωστόσο, από άποψη απωλειών ενέργειας εξ' αιτίας των αναδιπλώσεων, αποτελεί δυσμενέστερη επιλογή.



Εικόνα 2.4.2.2.3: Σχηματική απεικόνιση οριζόντιου συστήματος γεωσυλλεκτών τύπου σπирάλ, (Aid Engineering, 2012)

Ανοιχτού τύπου- Groundwater Heat Pumps (GWHPs)

Εάν είναι διαθέσιμος ο υπόγειος υδροφόρας, επιλέγονται συνήθως ανοιχτού τύπου συστήματα σωληνώσεων. Εδώ το ρευστό μετάδοσης θερμότητας είναι το ίδιο το νερό του υδροφόρου, το οποίο και αντλείται σταθερά ενώ στο τέλος κάθε κύκλου επαναπορρίπτεται. Από υπόγεια πηγάδια το νερό αντλείται και φτάνει στην είσοδο του εναλλάκτη – εξατμιστή και ακολουθείται ο κύκλος που περιγράφηκε πιο πάνω. Σε ορισμένες περιπτώσεις παρεμβάλλεται ένας ενδιάμεσος εναλλάκτης (από την άλλη πλευρά του οποίου κυκλοφορεί άλλο μέσον), ο οποίος απομονώνει την αντλία θερμότητας από τον υπόγειο υδροφόρα, ούτως ώστε να προστατεύεται ο εναλλάκτης – εξατμιστής της αντλίας, από πιθανά διαβρωτικά συστατικά που δύνανται να εμπεριέχονται στο νερό του υπόγειου ορίζοντα.

Η απόσταση μεταξύ των υδρογεωτρήσεων καθορίζεται από τον τύπο του πετρώματος, την ποσότητα του νερού άντλησης καθώς επίσης και το βάθος της υπόγειας υδροφορίας. Σε ό,τι αφορά τα πηγάδια, αυτά δεν μπορούν να

χρησιμοποιηθούν ως έχουν, λόγω της διακύμανσης τόσο της θερμοκρασίας όσο και της ποσότητας νερού που περιέχει.

Αν και τα ανοιχτού τύπου συστήματα ήταν τα πρώτα που εμφανίστηκαν στην αγορά της γεωθερμίας και παραμένουν τα απλούστερα, συχνά λόγω καθεστώτος ανεπάρκειας υπόγειου ορίζοντα εξ' αιτίας φαινομένων υπεράντλησης, η εφαρμογή τους πλέον είναι πιο περιορισμένη.

Καθώς είναι εξαιρετικά δύσκολη η επισκεψιμότητα σε τέτοια βάθη, οι σωληνώσεις θα πρέπει να είναι αρκούντως ανθεκτικές έναντι κόπωσης και διάβρωσης. Συνήθως επιλέγονται υλικά όπως υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο και η ένωσή τους επιτυγχάνεται με ισχυρή συγκόλληση. Η διάνοιξη γίνεται με κατάλληλα γεωτρήπανα.

Για το σκοπό αυτόν εισήχθη μια νέα τεχνολογία, αυτή των **τηλεσκοπική γεώτρηση** («standing well»). Πρόκειται για τη διάνοιξη μεμονωμένου πηγαδιού, η διάμετρός του οποίου είναι συνήθως 6in και μπορεί το βάθος του να είναι μέχρι και 450m. Στην περίπτωση αυτή, από τον πυθμένα του πηγαδιού αντλείται το νερό και από την κεφαλή του επαναπορρίπτεται στον υδροφόρο. Ωστόσο θα πρέπει να υπάρχει σχετικό ύψος του υδροφόρου μέχρι το σημείο του πυθμένα, ώστε να δημιουργείται ικανό δυναμικό για την άντληση, διαφορετικά είναι μια λύση αρκετά ενεργοβόρος και κοστοβόρος και επομένως πρακτικά ανεφάρμοστη. Επιπρόσθετα, είναι πιθανή μια διακύμανση του συντελεστή απόδοσης της αντλίας θερμότητας, λόγω της ανάμιξης του νερού άντλησης και εμπλουτισμού.

2.4.2.3 Το σύστημα διανομής θερμότητας στο κτίριο

Το σύστημα διανομής είναι εκείνο που θα παραλάβει τη θερμότητα από την έξοδο του κύκλου που περιγράφηκε πιο πάνω στο εδάφιο περί αντλίας θερμότητας και θα αναλάβει να το διανείμει στα σημεία όπου απαιτείται (ζεστό νερό χρήσης, θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής, θέρμανση εσωτερικών χώρων, ενδοδαπέδια θέρμανση κ.τ.λ.). Συνήθως αυτό λαμβάνει τη μορφή ενός αεραγωγού, ωστόσο υφίστανται και συστήματα διανομής με νερό (hydronic systems), τα οποία είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα σε εφαρμογές ενδοδαπέδιας θέρμανσης. Συνήθως το σύστημα διανομής είναι παρόμοιο με εκείνο ενός συμβατικού συστήματος.

2.5 Η θέση της γεωθερμίας στο χάρτη της ενεργειακής αγοράς

Βασικός περιοριστικός παράγοντας ως προς την εφαρμογή της γεωθερμίας είναι το αρχικά αρκετά υψηλό κόστος εξοπλισμού, σχεδόν διπλάσιο από ένα συμβατικό κεντρικό σύστημα σε επίπεδο κτιρίου.

Ωστόσο, τα συστήματα γεωθερμικών αντλιών εμφανίζουν μικρό κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Ιδιαίτερα σε χώρες όπου ευνοεί το κλίμα, οι ενεργειακές τιμές και συμφωνίες και η φύση του προβλήματος, η γεωθερμία αποτελεί ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στα χέρια του επενδυτή. Ιδιαίτερα συμφέρουσα είναι η απαίτηση και σε θέρμανση και σε ψύξη –για παράδειγμα σε κτίρια του τριτογενούς τομέα-, καθώς με το ίδιο γεωθερμικό σύστημα επιτυγχάνονται και τα δύο. Αντίθετα, για ταυτόχρονη ικανοποίηση και των δύο απαιτήσεων, με συμβατικές μεθόδους απαιτούνται δύο χωριστά συστήματα, γεγονός που αυξάνει αρκετά το αρχικό κόστος κεφαλαίου, καθιστώντας τη γεωθερμία μία λύση ανταγωνιστικότερη για τον επενδυτή.

Παράλληλα, με τη γεωθερμία επιτυγχάνεται ενεργειακή εξοικονόμηση εξ' αιτίας της ανανεώσιμης μορφής της και της προαναφερθείσας της δυνατότητας να λειτουργεί καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Ένα σύστημα γεωθερμίας εάν εγκατασταθεί εξ' αρχής σε ένα κτίριο είναι σαφώς οικονομικά αποδοτικότερο από το να λειτουργεί επικουρικά προς ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης.

Εάν η βασική απαίτηση είναι σε θέρμανση, τότε το χαμηλότερο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με το υψηλότερο του πετρελαίου ή του φυσικού αερίου, καθιστά τη γεωθερμία ελκυστικότερη από το σύστημα με καυστήρα. Εάν είναι κύρια απαίτηση η ψύξη, τότε η γεωθερμία πάλι είναι ελκυστικότερη έναντι ενός συστήματος air – condition που επίσης θα απαιτεί ηλεκτρική ενέργεια αλλά θα είναι λιγότερο αποδοτικό.

Συχνά όταν η ενεργειακή απαίτηση σε θέρμανση και ψύξη είναι διαφορετικές, διαστασιολογείται το σύστημα των υπεδάφίων σωληνώσεων για το μικρότερο εκ των δύο φορτίων, ούτως ώστε να μειωθεί το αρχικό κόστος εξοπλισμού και στη συνέχεια το υπόλοιπο της απαίτησης έρχεται να συμπληρωθεί μέσω άλλων μορφών ή συστημάτων. Ωστόσο, το κατά πόσον είναι οικονομικά συμφερότερη μια τέτοια πρακτική αποτελεί αντικείμενο εξειδικευμένης οικονομοτεχνικής μελέτης.

Συχνά οι επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος επιδοτούν τους επενδυτές που επιθυμούν να εγκαταστήσουν γεωθερμικά συστήματα. Το κέρδος που αποκομίζουν είναι η μείωση των φορτίων αιχμής τους και η αύξηση των φορτίων βάσης τους, καθώς αυξάνει η ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια τώρα που αυξάνει ο αριθμός των χρηστών που θα τοποθετήσουν συστήματα γεωθερμίας ωστόσο, το φορτίο αιχμής είναι μικρότερο από τη μείωση των κλιματιστικών για παράδειγμα. Μια τέτοια επιδότηση μπορεί να αποβεί καθοριστική για τον επίδοξο επενδυτή.

Ταυτόχρονα το περιβαλλοντικό όφελος είναι κοινό και αναμφισβήτητο για ολόκληρο το κοινωνικό σύνολο.

Για την περίπτωση των κτιρίων του τριτογενούς τομέα, η επιλογή της γεωθερμίας μπορεί να παρεμποδίζεται από την απαίτηση από την πλειοψηφία των χρηστών για γρήγορη απόσβεση του αρχικού κόστους κεφαλαίου, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι διαθέσιμες εκτάσεις για την εγκατάσταση του συστήματος σύνδεσης με το υπέδαφος είναι περιορισμένες.

Τα πλεονεκτήματα ενός γεωθερμικού συστήματος περιλαμβάνουν τη μικρή απαίτηση σε χώρο εντός του κτιρίου για τοποθέτηση της γεωθερμικής αντλίας, αυξάνοντας το διαθέσιμο χώρο για εμπορική εκμετάλλευση. Για την περίπτωση της ψύξης δε, η γεωθερμική αντλία συγκρινόμενη ως προς την απόδοσή της με ένα τυπικό κεντρικό σύστημα κλιματισμού, παρουσιάζει μικρότερα φορτία αιχμής κατά τη διάρκεια του θέρους σε ό,τι αφορά τη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία θα μπορούσε να ενταχθεί στο κόστος παροχής υπηρεσιών προς του πελάτες της δεδομένης επιχείρησης (για παράδειγμα ακριβότερη διαμονή σε ένα ξενοδοχείο κατά τη διάρκεια του θέρους).

Σε ό,τι αφορά τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος, η ηλεκτρική κατανάλωση μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας εξαρτάται από τη θερμοκρασία εισόδου του πηγαίου νερού ή του διαλύματος επανακυκλοφορίας του γεωσυλλέκτη. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία της ανακυκλοφορίας, τόσο υψηλότερος ο συντελεστής απόδοσης της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας και κατά συνέπεια, τόσο μειώνεται η ηλεκτρική κατανάλωση της ενέργειας που απαιτείται. Μια εναλλακτική επομένως λύση είναι και η χρήση ηλιακών πλαισίων για την εξοικονόμηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον η συνεχής θερμική ενέργεια που παράγεται από τα ηλιακά πλαίσια, δύναται να διοχετευτεί στην εγκατάσταση με στόχο τη μείωση των επενεργοποιήσεων της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας.

3 Βασικές παράμετροι αναλύσεων – Αποτελέσματα αναλύσεων

3.1 Εισαγωγή – αντικείμενο μελέτης

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η συγκριτική ανάλυση μεταξύ δύο εναλλακτικών λύσεων ΑΠΕ, αυτής του κεντρικού θερμικού ηλιακού συστήματος (Θ.Η.Σ.) και της εγκατάστασης γεωθερμικών αντλιών θερμότητας (Γ.Α.Θ.) κλειστού τύπου με κατακόρυφους γεωεναλλάκτες, με σκοπό τη θέρμανση εσωτερικής κολυμβητικής δεξαμενής, επιφανείας 150m² και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης για ξενοδοχειακή μονάδα δυναμικότητας 120 κλινών στην περιοχή Λάρισας. Και στις δύο περιπτώσεις, το βασικό σενάριο αναφοράς είναι η χρήση λέβητα φυσικού αερίου. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό RETScreen® International.

3.1.1 Ενεργειακές παράμετροι προγράμματος - επεξηγήσεις

Το RETScreen® International αποτελεί ένα λογισμικό ανάλυσης της καθαρής ενέργειας, ευρέως χρησιμοποιούμενο, με στόχο την αξιολόγηση της ενεργειακής παραγωγής, καθώς επίσης και των συμπαρομαρτούντων οικονομικών και περιβαλλοντικών αναλύσεων.

Το πρόγραμμα αποτελείται από μια σειρά τυποποιημένων φύλλων εργασίας. Παράλληλα περιλαμβάνει πρόσθετα εύχρηστα εργαλεία και βάσεις δεδομένων προϊόντων, μετεωρολογικών στοιχείων και δαπανών, στοιχεία πολύτιμα για τον εκάστοτε μελετητή.

Τα πέντε βήματα – φύλλα της μελετητικής διαδικασίας συνοψίζονται ως ακολούθως:

- 1) Ενεργειακό μοντέλο
- 2) Ανάλυση κόστους
- 3) Ανάλυση Αερίων Του Θερμοκηπίου
- 4) Χρηματοοικονομική περίληψη
- 5) Ανάλυση ευαισθησίας και κινδύνων της επένδυσης

Η λειτουργία του λογισμικού Retscreen βασίζεται στο περιβάλλον εργασίας του λογισμικού Excel. Ο χρήστης εισάγει τα δεδομένα στα γκρι κελιά των φύλλων εργασίας. Τα λευκά κελιά αποτελούν στοιχεία εξόδου υπολογισμών από το μοντέλο, βασιζόμενα στις εξισώσεις που είναι «περασμένες» στον κώδικα του λογισμικού. Στα κίτρινα κελιά, γίνεται είσοδος τιμών από το χρήστη, απαιτείται ωστόσο «τρέξιμο» του μοντέλου. Τέλος στα γαλάζια κελιά εισάγονται από το χρήστη παράμετροι και στοιχεία, τα οποία διατίθενται και στην online βάση δεδομένων.

3.1.1.1 Μοντέλο Ηλιακής Θέρμανσης Νερού

Το μοντέλο ηλιακής θέρμανσης νερού, αποτελεί ένα ευρύτατα διαδεδομένο εργαλείο για την αξιολόγηση της παραγωγής ενέργειας, του κόστους του κύκλου ζωής ενός συστήματος και της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για τις ακόλουθες εφαρμογές, οποιασδήποτε κλίμακας έργου:

- ζεστό νερό χρήσης
- κολυμβητικές δεξαμενές (εσωτερικές ή εξωτερικές)

Στο φύλλο της εκκίνησης, στο σημείο εισαγωγής των κλιματικών δεδομένων, εισάγονται τα κλιματικά και μετεωρολογικά χαρακτηριστικά, από τη διαθέσιμη online βάση δεδομένων, για την υπό θεώρηση περιοχή. Περεταίρω διορθώσεις ελήφθησαν υπ' όψη από τα διαθέσιμα δεδομένα της μετεωρολογικής βάσης δεδομένων του ΕΜΠ.

Ενεργειακά χαρακτηριστικά για εκτίμηση ζήτησης

Εκτιμά την ετήσια ενεργειακή παραγωγή για ένα ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού για δεδομένες, τοπικές συνθήκες ηλιοφάνειας και δεδομένα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος. Τα Αποτελέσματα δίδονται σε MWh.

Στην **εφαρμογή** επιλέγεται ο τύπος εφαρμογής ηλιακής θέρμανσης νερού («**παροχή ζεστού νερού**» ή «**πισίνα**»). Στο παρόν σενάριο δίδεται «**παροχή ζεστού νερού**» για ξενοδοχειακή χρήση και «**πισίνα**», που θα αφορά σε μία εσωτερική κολυμβητική δεξαμενή, έκτασης 150m².

Στον **τύπο κτιρίου** δίδεται η ξενοδοχειακή χρήση, προκειμένου από τα πρότυπα των ενεργειακών κανονισμών, να ληφθούν υπ' όψη οι εκάστοτε θερμοκρασιακές απαιτήσεις.

Στον **αριθμό μονάδων** εισάγεται το μέγιστο φορτίο που θα πρέπει να ικανοποιείται σε μία ημέρα. Στην προκειμένη περίπτωση πρόκειται για **φορτίο 120 κλινών, εξυπηρετούμενων ανά ημέρα**.

Στο **ποσοστό κατοίκησης** ο χρήστης εισάγει το ποσοστό χρήσης κατά το οποίο θα αξιοποιείται το εν λόγω θερμαινόμενο σύστημα, κατά τη διάρκεια της εποχής της χρήσης. Αυτή η τιμή χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα για να μειώσει τις ενεργειακές ανάγκες του συστήματος κατά ένα ανάλογο ποσό. Σειρά τιμών από 0 έως 100%. Παραδείγματος χάριν, στην περίπτωση ενός σχολείου που είναι κλειστό κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου, εισάγεται ποσοστό 75%. Για ένα σύστημα χρησιμοποιούμενο όλη η εβδομάδα, εισάγεται ποσοστό 100%. Στην περίπτωσή μας η

πισίνα του ξενοδοχείου θεωρείται διαθέσιμη όλο το χρόνο είναι διαθέσιμη σε **ποσοστό 50%**.

Στην **ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού** για την εφαρμογή «ζεστό νερό» εκτιμάται από το ίδιο το λογισμικό σε L/ημέρα. Στο αμέσως ακόλουθο κελί, ζητείται η εισαγωγή της ζήτησης από τον ίδιο το χρήστη, προκειμένου να εξασφαλιστεί κάποιος συντελεστής ασφάλειας. Εργαζόμενοι υπέρ της ασφαλείας επομένως, εισάγουμε μία τιμή λίγο μεγαλύτερη από την εκτιμώμενη.

Στη **θερμοκρασία** το λογισμικό ζητά την επιθυμητή θερμοκρασία του νερού, σε °C. Σε ό,τι αφορά το **ζεστό νερό χρήσης** η εισαγόμενη τιμή είναι **60° C**, ενώ για την **κολυμβητική δεξαμενή και για χρήση αναψυχής**, η τιμή είναι **29° C** (RETSscreen - Solar Water Heating Project Analysis - e-Textbook, 2009).

Στις **ημέρες λειτουργίας ανά εβδομάδα** εισάγεται ο αριθμός των ημερών που χρησιμοποιείται το σύστημα, ανα εβδομάδα. Για το σενάριο αναφοράς μας, το ξενοδοχείο λειτουργεί **7 ημέρες την εβδομάδα**.

Στο **ποσοστό χρήσης ανά μήνα** ο χρήστης εισάγει τους μήνες για τους οποίους χρησιμοποιείται ο ενεργειακός εξοπλισμός. Οι μήνες κατά τη διάρκεια των οποίων ο ενεργειακός εξοπλισμός δεν χρησιμοποιείται δεν λαμβάνονται υπόψη στην ενεργειακή και οικονομική ανάλυση. Για κάθε μήνα, δίδεται μια τιμή μεταξύ 0 και 1. Εισάγεται 0 εάν ο ενεργειακός εξοπλισμός δεν χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια ενός μήνα, 0.5 εάν χρησιμοποιείται 50% και 1 εάν χρησιμοποιείται 100% όλο τον μήνα. Εργαζόμενοι υπέρ της ασφαλείας θεωρούμε ότι ο ενεργειακός εξοπλισμός θα λειτουργεί στο 100% κάθε μήνα.

Στη **χρήση καλύμματος** ο χρήστης εισάγει τον αριθμό ωρών ανά ημέρα (hr/d) κατά τον οποίο ένα κάλυμμα σκεπάζει την κολυμβητική δεξαμενή, στην περίπτωση εξωτερικής πισίνας, για ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας κατά τη διάρκεια κυρίως της νύχτας. Εάν δε χρησιμοποιείται κάλυμμα, τίθεται . Εάν η πισίνα είναι κλειστή τίθεται 24 hr/ d.

Στο **νερό αναπλήρωσης** δίδεται το ποσοστό του νερού της πισίνας που ανανεώνεται ανά εβδομάδα, για λόγους υγιεινολογικούς και όχι για λόγους απωλειών εξάτμισης. Χαρακτηριστικές τιμές κυμαίνονται μεταξύ 5-10%.

Στη **θερμοκρασία νερού - ελαχίστη / μέγιστη** εισάγεται η ελάχιστη και η μέγιστη αντίστοιχα θερμοκρασία που δύναται να έχει το νερό σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, σε °C, βάσει των κλιματικών και λοιπών χαρακτηριστικών της εξεταζόμενης περιοχής.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, το λογισμικό εκτιμά την ετήσια ενεργειακή ζήτηση.

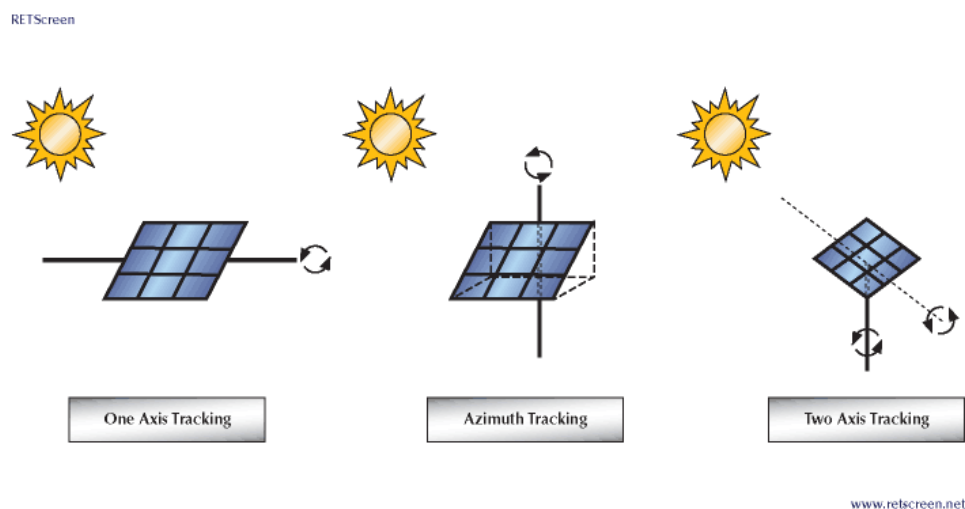
3.1.1.2 Ενεργειακά χαρακτηριστικά ηλιακού συστήματος

Στη **γωνία κλίσης του ηλιακού συλλέκτη** εισάγεται μία από τις ακόλουθες επιλογές συστήματος παρακολούθησης της κίνησης του ηλίου (tracking):

- Σταθεροποιημένο και ακλόνητο σε συγκεκριμένη κλίση.
- Αζιμούθιο, όπου ο άξονας περιστροφής είναι κατακόρυφος, ενώ το πάνελο βρίσκεται σε κλίση.
- Μοναξονικό, όπου ο άξονας περιστροφής κείται στο επίπεδο του πανέλου.
- Διαξονικό, όπου υπάρχουν δύο άξονες περιστροφής, ένας κατακόρυφος και ένας στο επίπεδο του πανέλου.

Σε κάθε περίπτωση η κλίση οφείλει να συμπίπτει με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, για μέγιστο ετήσιο ηλιακό κέρδος, για την περίπτωση των συστημάτων που λειτουργούν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Στην περίπτωση που είναι επιθυμητή μια μεγιστοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας ενός ηλιακού κατά τη διάρκεια του χειμώνα, στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου προστίθενται και 15°. Αυτή η κλίση ενδείκνυται περισσότερο για τα κρύα κλίματα ώστε να μειώνεται η πιθανότητα συσσώρευσης χιονού (πηγή: έκθεση Metropolitan Expro). Τέλος, για την περίπτωση της στέγης, μπορεί να επιλεγεί κλίση ίση με την κλίση της στέγης. Αν και η παρούσα δεν αποτελεί βέλτιστη επιλογή από άποψη ηλιακών κερδών, συχνά είναι προτιμητέα, εξ' αιτίας της μείωσης του κόστους εγκατάστασης με την αποφυγή σύνθετων υποστηρικτικών μέτρων και συχνά είναι προσφορότερη και από αισθητικής άποψης.

Sun-tracking Devices



Εικόνα 3.1.1.2.1: Κατηγορίες συστημάτων παρακολούθησης ηλιακής κίνησης (www.retscreen.com)

Στο **αζιμούθιο του ηλιακού συλλέκτη** ο χρήστης εισάγει τη γωνία μεταξύ της κατακόρυφης προβολής, της καθέτου στο συλλέκτη πάνω στο οριζόντιο επίπεδο, με την διεύθυνση του νότου και παίρνει τιμές από +180 μέχρι -180. Χαρακτηριστικές θέσεις +180 (Βορράς), +90 (ανατολή), 0 (νότος), -90 (δύση) και -180 (Βορράς). Ο προτιμώμενος προσανατολισμός θα πρέπει να στρέφεται προς τον ισημερινό, όπου στην προκειμένη περίπτωση η γωνία του αζιμούθιου είναι 0° στο βόρειο ημισφαίριο και 180° στο νότιο ημισφαίριο. Στην περίπτωση ενός συλλέκτη που τοποθετείται άμεσα στη στέγη ενός κτιρίου, το αζιμούθιο είναι ίσο με αυτό της στέγης, η οποία επιλέγεται ώστε να αντικρίζει τον ισημερινό όσο το δυνατόν περισσότερο. Για παράδειγμα, ένας ηλιακός συλλέκτης στο βόρειο ημισφαίριο που είναι στραμμένος προς τα νοτιοδυτικά θα είχε γωνία αζιμουθίου 45°.

Η χρήση της πυξίδας προϋποθέτει την γνώση της μαγνητικής απόκλισης για τον δεδομένο τόπο, με βάση στοιχεία από σχετικούς πίνακες ή χάρτες. Εάν η κατεύθυνση του αζιμουθίου καθορίζεται από τα σχέδια της περιοχής, πρέπει να καθοριστεί ποιο σημείο αναφοράς χρησιμοποιεί ο Βορράς. Η τοποθεσία του Βορρά δεν αντιστοιχεί πάντα στον αληθινό Βορρά, όπως ρυθμίζεται μερικές φορές για την ευκολία στα σχέδια περιοχών και οικοδόμησης.

Στον **τύπο συλλέκτη** επιλέγουμε τον τύπο συλλεκτών από τις τρεις διαθέσιμες επιλογές: «χωρίς υαλοκάλυψη», «υαλοκάλυπτος» και «κενού». Έκαστη επιλογή παρουσιάζει διαφορετική απόδοση τόσο σε τεχνικά όσο και σε οικονομικά χαρακτηριστικά. Εν γένει «μη υαλοκάλυπτοι» συλλέκτες διαθέτουν το χαμηλότερο κόστος, σε αντίθεση με τους «κενού», οι οποίοι έχουν το υψηλότερο κόστος. Οι τύποι συλλεκτών έχουν αναλυθεί στο αντίστοιχο εδάφιο του θεωρητικού υποβάθρου της παρούσας διπλωματικής θέσης (RETScreen - Solar Water Heating Project Analysis - e-Textbook, 2009).

Απόδοση ηλιακών συλλεκτών

- Βασική παραδοχή που υπεισέρχεται στις εξισώσεις απόδοσης που χρησιμοποιούνται από το Retscreen, είναι ότι στην εκτίμηση του ποσοστού απόδοσης, λαμβάνεται υπόψη η συνολική επιφάνεια και όχι στην επιφάνεια ανοίγματος του συλλέκτη.

Γραμμική εξίσωση απόδοσης

Συνήθως, η απόδοση ενός υαλοκαλυπτου ή ενός συλλέκτη κενού υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\eta = Fr(\tau \alpha) - [FrUL] * \frac{DT}{G} \quad [14],$$

Όπου:

η , η αποδοτικότητα του συλλέκτη

$Fr(\tau \alpha)$, συντελεστής που αφορά στην οπτική απόδοση συλλεκτών- καθορίζεται από τυποποιημένες δοκιμές και είναι διαθέσιμη από τις τεχνικές προδιαγραφές του εκάστοτε κατασκευαστή

$Fr UL$, συντελεστής που χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει τις θερμικές απώλειες του συλλέκτη $((W/m^2)/^{\circ}C)$ - καθορίζεται από τυποποιημένες δοκιμές και είναι διαθέσιμη από τις τεχνικές προδιαγραφές του εκάστοτε κατασκευαστή

DT , η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ κινούμενου ρευστού το οποίο εισάγεται στον συλλέκτη και περιβάλλοντος [$^{\circ}C$]

G , η ολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο συλλέκτη (W/m^2)

- Εν γένει, όσο αυξάνει ο $Fr(\tau \alpha)$, τόσο αποδοτικότερος είναι ο συλλέκτης στη σύλληψη της ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία, ενώ όσο μικρότερος είναι ο $Fr UL$, τόσο καλύτερα διατηρεί ο συλλέκτης τη ληφθείσα

ενέργεια, γεγονός που μεταφράζεται σε λιγότερες απώλειες λόγω της μεταφοράς θερμότητας και αγωγιμότητας του ατμοσφαιρικού αέρα.

Δευτεροβάθμια εξίσωση απόδοσης

Ορισμένοι κατασκευαστές στη Ευρώπη κυρίως, περιλαμβάνουν ένα τετραγωνικό όρο στην εξίσωση απόδοσης:

$$\eta = Fr(\tau \alpha) - [Fr UL] * \frac{DT}{G} - [Fr UL_T] * \frac{DT^2}{G} \quad [15]$$

Όπου:

Fr UL_T , ο συντελεστής θερμοκρασίας του Fr UL.

Εάν ο χρήστης πρέπει να εισάγει την απόδοση του συλλέκτη στην ευρωπαϊκή μορφή, το Retscreen θα υπερεκτιμήσει την τελική απόδοση με βάση την ανωτέρω εξίσωση κατά 3%. Συνιστάται επομένως από το εγχειρίδιο χρήσης μια αύξηση των εκτιμώμενων απωλειών που οφείλονται σε χιόνι και ρύπους κατά 3%.

Εξισώσεις απόδοσης που εξαρτώνται από τον άνεμο.

Η εξίσωση (15) χρησιμοποιείται επίσης για τους μη υαλοκάλυπτους συλλέκτες. Ωστόσο θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν τα ακόλουθα:

- Για μη υαλοκάλυπτους συλλέκτες, η ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία G θα περιλαμβάνει τις απώλειες των μικροκυμάτων της ακτινοβολίας προς τον ουρανό.
- Για τους περισσότερους μη υαλοκάλυπτους συλλέκτες, οι συντελεστές απόδοσης προσαρμόζονται ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου. Συνακόλουθα, όπου Fr (tau alpha) έχουμε:

$$[Fr(\tau \alpha)] - [Fr(\tau \alpha)]_{\text{ανέμου}} * V \quad [16]$$

και όπου Fr UL έχουμε:

$$[Fr UL] + [Fr UL]_{\text{ανέμου}} * V \quad [17]$$

όπου:

$[Fr(\tau \alpha)]_{\text{ανέμου}}$ και $[Fr UL]_{\text{ανέμου}}$, δύο διορθωτικοί συντελεστές, που εκφράζονται σε s/m και (J/m³)/°C, αντίστοιχα

V, η μέση ταχύτητα ανέμου (m/s)

- Για τους περισσότερους μη υαλοκάλυπτους συλλέκτες, η συνολική επιφάνεια και η επιφάνεια ανοίγματος είναι ίδια. Σε ό,τι αφορά τις διαφορές μεταξύ της συνολικής επιφάνειας και της επιφάνειας ανοιγμάτων, παραπάνω αναφέρεται η παραδοχή ότι η απόδοση του συλλέκτη σχετίζεται με την συνολική επιφάνεια , με συνολική επιφάνεια να θεωρούμε την ολική επιφάνεια που

καταλαμβάνει ο συλλέκτης, συμπεριλαμβανομένου του πλαισίου. Ως επιφάνεια ανοίγματος ορίζεται η μέγιστη επιφάνεια του συλλέκτη από την οποία μπορεί να συλλέγεται η άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Για τους υαλοκάλυπτους συλλέκτες, η επιφάνεια του ανοίγματος είναι ίση με την συνολική επιφάνεια αφαιρουμένης της περιοχής που καταλαμβάνει το πλαίσιο. Για τους συλλέκτες κενού, η αντίστοιχη επιφάνεια ανοίγματος είναι η επιφάνεια που καλύπτεται από τις ίδιες σωλήνες, ενώ η συνολική επιφάνεια περιλαμβάνει την περιοχή μεταξύ των σωλήνων.

Σύμφωνα με την ανωτέρω παραδοχή, εισάγονται οι ακόλουθες σχέσεις:

$$\eta_{a_g} = \eta_{a_a} * \frac{A_a}{A_g} \quad [18]$$

Όπου:

η_{a_g} , η απόδοση σύμφωνα με την συνολική επιφάνεια

η_{a_a} , η απόδοση σύμφωνα με την επιφάνεια ανοίγματος

A_g , η συνολική επιφάνεια (m²)

A_a , η επιφάνεια ανοίγματος (m²)

Στο **συντελεστή F_r** οι τιμές κυμαίνονται από 0.50 ως 0.90. Οι αυξημένες τιμές αντιστοιχούν σε συλλέκτες χωρίς υαλοκάλυψη, η μέση τιμή σε υαλοκάλυπτους συλλέκτες, ενώ η χαμηλότερη τιμή της κλίμακας εφαρμόζεται στους συλλέκτες κενού (RETScreen - Solar Water Heating Project Analysis - e-Textbook, 2009).

Στο **συντελεστή διόρθωσης του $F_{r,ανέμου}$** για την περίπτωση μη υαλοκάλυπτου συλλέκτη, θα πρέπει να εισαχθεί ο αντίστοιχος διορθωτικός συντελεστής λόγω ανέμου (s / m). Οι Χαρακτηριστικές τιμές κυμαίνονται από 0.030 ως 0.030 s/m.

Στο **συντελεστή $F_r U_L$** ο χρήστης εισάγει τον αντίστοιχο συντελεστή $F_r U_L$ ((W/m²)/°C) Οι χαρακτηριστικές τιμές κυμαίνονται από 10.00 έως 15.00 (W/m²)/°C για μη υαλοκάλυπτους, από 3.50 έως 6.00 ((W/m²)/°C, για υαλοκάλυπτους συλλέκτες και για συλλέκτες κενού 0.70 ως 3.00 (W/m²)/°C.

Στο **συντελεστή διόρθωσης του $F_r U_L$ ανέμου** για την περίπτωση που επιλέγεται ο μη υαλοκάλυπτος τύπος, ο χρήστης εισάγει το συντελεστή διόρθωσης λόγω ανέμου (α_{hatau}) σε (J/m³) / °C. Οι Χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή διόρθωσης λόγω ανέμου κυμαίνονται από 3.0 ως 15.0 (J/m³) / °C.

Στο **συντελεστή θερμοκρασίας για τον συντελεστή $F_r U$** για την περίπτωση του υαλοκάλυπτου ή του συλλέκτη κενού, εισάγουμε το συντελεστή θερμοκρασίας του $F_r U$

UL, σε $W/(m^{\circ}C)^2$. Εάν πρόκειται για γραμμική εξίσωση αποδοτικότητας, τίθεται η τιμή 0, διαφορετικά επιλέγεται τιμή από 0.000 ως 0.010, όπου αύξηση του συντελεστή δηλοί αύξηση των απωλειών λόγω θερμοκρασίας (RETScreen - Solar Water Heating Project Analysis - e-Textbook, 2009).

Στον **προτεινόμενο αριθμό συλλεκτών** το λογισμικό προτείνει έναν αριθμό συλλεκτών, τιμή που θα αποτελεί συνάρτηση του θερμικού φορτίου, του τύπου του επιλεγόμενου συλλέκτη, των κλιματολογικών συνθηκών και της εποχής χρήσης (οι συλλέκτες κενού, για παράδειγμα, είναι πιο αποτελεσματικοί από ότι ακάλυπτοι συλλέκτες το χειμώνα, εν τούτοις η κατάσταση αυτή μπορεί να αντιστραφεί το καλοκαίρι). Συνίσταται εν γένει ο προτεινόμενος αριθμός των συλλεκτών να χρησιμοποιείται ως σημείο εκκίνησης και μόνον. Προτείνεται μια επαναληπτική διαδικασία βρόχου, οικονομοτεχνικής φύσεως που θα εκτιμήσει το βέλτιστο αριθμό συναρτήσει του ηλιακού λόγου της απόδοσης και ενός οικονομικού μεγέθους αποτίμησης της επένδυσης, όπως αναλύεται στη συνέχεια.

- Η μέγιστη προτεινόμενη συνολική επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών περιορίζεται από το λογισμικό βάσει εμπειρικού κανόνα για τις εφαρμογές σε κολυμβητική δεξαμενή, ούτως ώστε να είναι ίση το πολύ με την επιφάνεια της πισίνας [manual].

Στον **αριθμό συλλεκτών** που ακολουθεί, ο χρήστης εισάγει τον πραγματικό αριθμό συλλεκτών για το ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού.

Στην **ισχύ** το λογισμικό υπολογίζει την ισχύ του ηλιακού θερμαντήρα με βάση τα στοιχεία που έχουν δοθεί.

Στις **λοιπες απώλειες** εισάγονται ως ποσοστό οι απώλειες του συστήματος.

Στο **ισοζύγιο συστήματος - διάφορα** δίδονται πληροφορίες σχετικά με τις σωληνώσεις, τις αντλίες, και έναν προαιρετικό εναλλάκτη θερμότητας.

Στην **αποθήκευση** εισάγονται τα χαρακτηριστικά της δεξαμενής αποθήκευσης. Αρχικά επιλέγεται εάν στο σύστημα υπάρχει αποθήκευση ή όχι.

Στη **χωρητικότητα αποθήκευσης / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη** εισάγεται ο επιθυμητός αριθμός λίτρων της αποθήκευσης ανά τετραγωνικό μέτρο (ανηγμένη επιφάνεια) του ηλιακού συλλέκτη (L/m^2). Όσο αυξάνει η χωρητικότητα, τόσο το σύστημα θα είναι σε θέση να διανύσει μεγαλύτερες περιόδους φτωχής ηλιοφάνειας, εις βάρος ωστόσο του πάγιου κόστους του εξοπλισμού. Χαρακτηριστικές τιμές κυμαίνονται από 37.5 ως 100 L/m^2 .

Στη **χωρητικότητα αποθήκευσης** το λογισμικό υπολογίζει την χωρητικότητα της δεξαμενής αποθήκευσης ζεστού νερού. Μπορεί να κυμανθεί από μερικές εκατοντάδες λίτρα για τις οικιακές εφαρμογές ως αρκετές χιλιάδες λίτρα για τις βιομηχανικές εφαρμογές.

Στον **εναλλάκτη θερμότητας** επιλέγεται αρχικά η χρήση ή όχι κάποιου εναλλάκτη θερμότητας. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται, το λογισμικό υποθέτει ότι ένα υγρό αντιψυκτικό, όπως η γλυκόλη, κυκλοφορεί διαμέσου των συλλεκτών, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο αντιψυκτική προστασία στο σύστημα το χειμώνα. Εάν ο χρήστης τη μη τοποθέτηση εναλλάκτη, η παροχή ζεστού νερού ή νερού πισίνας υποτίθεται ότι κυκλοφορεί μέσω του ιδίου σώματος των συλλεκτών, οπότε επιβάλλεται το σύστημα να παραμένει ανενεργό σε συνθήκες παγετού.

Στην **απόδοση εναλλάκτη θερμότητας** ο χρήστης εισάγει την απόδοση του εναλλάκτη θερμότητας, σε %. Αυτή η είσοδος είναι διαθέσιμη μόνο εάν γίνει επιλογή εναλλάκτη θερμότητας. Η απόδοση του εναλλάκτη θερμότητας κυμαίνεται από 50 έως 85%, ανάλογα με τον τύπο που επιλέγεται. Σαν τυπικό αρχικό σημείο για την ανάλυση προτείνεται το 80%. Σημειώνεται δε ότι η απόδοση του εναλλάκτη θερμότητας δεν σχετίζεται με τις θερμικές απώλειες του. Υψηλότερη απόδοση χαρακτηρίζει τη δυνατότητα του εναλλάκτη θερμότητας να μεταφέρει το ίδιο ποσό θερμότητας από το κύκλωμα στην παροχή ζεστού νερού, με μια ελάχιστη διαφορά θερμοκρασίας (RETScreen - Solar Water Heating Project Analysis - e-Textbook, 2009).

Στην **ισχύ αντλίας / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη** δίδεται η ισχύς αντλίας ανά μονάδα ενεργής επιφάνειας συλλέκτη, σε W/m^2 , από την οποία θα ανακύψει η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια προκειμένου να λειτουργήσει το σύστημα ηλιακής θέρμανσης νερού. Η τιμή αυτή θα τεθεί 0 για τα ακόλουθα συστήματα:

- Θερμοσιφωνικά συστήματα, δεδομένου ότι δεν απαιτείται αντλία για αυτό το ηλιακό σύστημα.
- Συστήματα με φωτοβολταϊκά (τροφοδοτούμενες αντλίες), εφόσον η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια.
- Υπαίθρια συστήματα κολυμβητικών δεξαμενών, όταν η αντλία των συστημάτων διήθησης δύναται να χρησιμοποιηθεί και για το ηλιακό κύκλωμα (όταν το ηλιακό κύκλωμα απαιτεί υψηλή υδροστατική πίεση [high head] (π.χ. συλλέκτες τοποθετημένοι σε σημείο ψηλότερο από το επίπεδο της πισίνας)).

- Βιομηχανικού τύπου συστήματα, όπου το νερό απλά διοχετεύεται μέσω των συλλεκτών πριν παραδοθεί στο φορτίο ζήτησης.

Στα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού ανοικτού κυκλώματος ,απαιτείται γενικά μόνο μια αντλία για την κυκλοφορία νερού από τη δεξαμενή διαμέσου των ηλιακών συλλεκτών. Χαρακτηριστικές τιμές κυμαίνονται από 3 έως 22 W/m². Επιπρόσθετα, χαρακτηριστικές τιμές χρησιμοποιούνται ανάλογα με το μέγεθος των ηλιακών συλλεκτών, όπως διαφαίνεται και στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 3.1.1.2.1: Απαιτούμενη ισχύς αντλίας σε W ανά επιφάνεια τοποθετούμενου ηλιακού συλλέκτη σε m²
(www.retscreen.com)

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΛΛΕΚΤΗ m ²	ΑΝΤΛΙΑ W	ΙΣΧΥΣ ΑΝΤΛΙΑΣ/ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ W/m ²
2 – 6	20 – 45	3 – 20
6 – 12	85	7 – 15
12 – 35	185	5 – 15
35 – 60	205	3.5 – 6

Στις **λοιπές απώλειες**, εκτιμώνται σε ποσοστό της ηλιακής ενέργειας, οι απώλειες θερμότητας από τις σωληνώσεις, ως επίσης και από τη δεξαμενή αποθήκευσης προς τον περιβάλλοντα χώρο. Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτώνται συνοψίζονται ως ακολούθως:

- Στα συστήματα χωρίς αποθήκευση, οι απώλειες οφείλονται στις σωληνώσεις και είναι ανάλογες του μήκους σωλήνωσης. Για σχετικά –με την επιφάνεια του συλλέκτη-μικρές αποστάσεις, αντιπροσωπευτικό θεωρείται το ποσοστό 1-2%, ενώ για μεγαλύτερες αποστάσεις δύναται να φτάσει και το 7-8%.
- Οι τιμές αυτές δύναται να είναι υψηλές, όταν η μόνωση των σωληνώσεων είναι ανεπαρκής.
- Σε συστήματα με αποθήκευση, ένα επιπλέον ποσοστό της τάξης του 5-10% θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν για τη δεξαμενή αποθήκευσης.
- Εάν το σύστημα χρησιμοποιείται μόνο κατά τους θερινούς μήνες, οι απώλειες είναι μικρότερες, ενώ στην αντίθετη περίπτωση που το σύστημα χρησιμοποιείται κατά τους χειμερινούς, αυξάνουν.

Ειδικότερα στις **απώλειες που οφείλονται σε χιόνι η και ρύπους** δίδεται το ποσοστό της ενέργειας που χάνεται εξ' αιτίας της επικάλυψης επί του ηλιακού συλλέκτη

φορτίων χιονιού ή αιωρούμενων στερεών ρύπων. Η τιμή αυτής της παραμέτρου εξαρτάται από τις τοπικές κλιματικές συνθήκες, από τη γωνία κλίσης του συλλέκτη, και από το συχνό ή όχι καθαρισμό των επιφανειών των συλλεκτών. Χαρακτηριστικές τιμές κυμαίνονται από 2 έως 5% για συλλέκτες σωλήνων κενού τοποθετημένες σε επίπεδες επιφάνειες ή καλοδιατηρημένους συλλέκτες, και 3 έως 10% για λοιπούς συλλέκτες.

Στην **ηλεκτρική ζήτηση / αντλία** η εφαρμογή εκτιμά το μέγεθος της ηλεκτρικής ενέργειας (MWh) που απαιτείται για τη λειτουργία των αντλιών του ηλιακού συστήματος θέρμανσης νερού κατά τους μήνες της χρήσης. Η συγκεκριμένη τιμή εξαρτάται από την απορροφώμενη ηλιακή ακτινοβολία και είναι ανάλογη με την ισχύ άντλησης ανά μονάδα επιφάνειας συλλέκτη, την επιφάνεια ανοίγματος ανά συλλέκτη και τον αριθμό των συλλεκτών.

Στην **αποδιδόμενη θερμότητα** η εφαρμογή εκτιμά το μέγεθος της ενέργειας που παρέχεται από τους ηλιακούς συλλέκτες ανά μονάδα επιφάνειας συλλέκτη για τους μήνες χρήσης, σε kWh / m². Αυτή η τιμή εξαρτάται από τον τύπο συλλέκτη, από τις κλιματολογικές συνθήκες, την ύπαρξη εναλλάκτη, την ημερήσια ποσότητα ζεστού νερού χρήσης. Η τιμή αυτή κυμαίνεται από 200 έως 800 kWh / m² για ένα σύστημα που λειτουργεί για 12 μήνες ετησίως.

Στην **απόδοση συστήματος** το λογισμικό εκτιμά την απόδοση του συστήματος (%), το λόγο της ηλιακής ενέργειας που παραλαμβάνεται από το σύστημα προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Μια τυπική απόδοση για τέτοιου είδους συστήματα κυμαίνεται από 30 έως 50%, για την περίπτωση ζεστού νερού χρήσης, ενώ για κολυμβητικές δεξαμενές φτάνει και το 60%.

Στον **ηλιακό λόγο** το λογισμικό αποδίδει το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που μετατρέπεται τελικά σε ωφέλιμη μορφή, όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση η θερμότητα που εξυπηρετεί τη θέρμανση του νερού χρήσης. Για ένα σύστημα που είναι ορθώς σχεδιασμένο, συνήθως ο ηλιακός λόγος κυμαίνεται στο ¼ με ½ του συνολικού φορτίου. Αύξηση του ηλιακού λόγου υπεισέρχεται σημαντικά αν στο σύστημα προστεθεί και η δυνατότητα θερμικής αποθήκευσης.

3.1.1.3 Μοντέλο ΓΑΘ

Η βηματική λογική που ακολουθείται, είναι η ίδια με την ως άνω αναφερθείσα του ηλιακού μοντέλου. Ωστόσο, δίδονται ορισμένες διευκρινίσεις ως προς τις ζητούμενες

από την εφαρμογή ενεργειακές παραμέτρους και για το σενάριο χρήσης γεωθερμικών αντλιών.

Σε ό,τι αφορά το **προτεινόμενο σύστημα θέρμανσης**, αυτό μπορεί να ανήκει σε μία από τις ακόλουθες κατηγορίες:

1. Φορτίου βάσης, το οποίο λειτουργεί υπό πλήρη δυναμικότητα και μπορεί να καλύψει ενέργεια μικρότερη της αιχμής. Για το λόγο αυτό απαιτεί και ένα εναλλακτικό σύστημα.
2. Ενδιάμεσου φορτίου, το οποίο περιλαμβάνει ένα επιπλέον σύστημα θέρμανσης για την κάλυψη ενδιάμεσων φορτίων μεταξύ βάσεως και αιχμής.
4. Αιχμής, διαστασιολογείται προκειμένου να καλύπτει τα φορτία αιχμής που απαιτούνται για τη θέρμανση. Είναι σαφώς το πιο κοστοβόρο.
5. Εφεδρικό (προαιρετικό) σε περίπτωση διακοπής του ανωτέρω συστήματος.

Στην περίπτωση μας επιλέχθηκε ένα σύστημα φορτίου βάσης.

Κατόπιν, το λογισμικό ζητά ορισμένα ενεργειακά χαρακτηριστικά του συστήματος όπως η ύπαρξη ή όχι συμβατικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης (air-conditioning) στο κτίριο, το είδος του χρησιμοποιούμενου καυσίμου σ' αυτό και η εποχιακή του απόδοση. Στο συγκεκριμένο έργο το καύσιμο που χρησιμοποιείται για το συμβατικό σύστημα είναι το φυσικό αέριο.

Ακολουθούν τα χαρακτηριστικά του συστήματος του γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας (GSHP), δηλαδή ένα πρόκειται για κατακόρυφο σύστημα, οριζόντιο σύστημα και το σύστημα ανοικτού βρόχου, το κριτήριο σχεδιασμού του συστήματος (ψύξη ή θέρμανση), και ο τρόπος διάταξης του γεωθερμικού εναλλάκτη.

Σε ό,τι αφορά τον τύπο εδάφους, εν γένει όσο πιο βραχώδες και σκληρό, τόσο πιο αντι – οικονομική είναι η εγκατάσταση οριζοντίου συστήματος –πέρα από τον περιορισμό σε διαθέσιμη κάλυψη-. Για τυπικά εδάφη όπως στην περίπτωση μας επιλέγονται κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες.

Δεδομένου ότι η εφαρμογή δεν υποστηρίζει ειδικά την περίπτωση ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης πισίνας, χρησιμοποιήθηκε η τιμή της ετήσιας απαίτησης που προέκυψε από τα αντίστοιχα φύλλα του ηλιακού μοντέλου και δημιουργήθηκε ένα ανάλογο κτιρίου με θερμαινόμενη επιφάνεια τόση ώστε να προκύπτουν οι ίδιες ετήσιες θερμικές ανάγκες.

Θα εξετάσουμε την εγκατάσταση ενός κατακόρυφου κλειστού συστήματος γεωεναλλακτών. Σε αυτά τα βάθη η θερμοκρασία του εδάφους t_g παραμένει περίπου

σταθερή καθ' όλη την διάρκεια του έτους και ίση με το μέσο όρο των χειμερινών και θερινών μέσων θερμοκρασιών της ατμόσφαιρας. Οι οριζόντιοι εναλλάκτες παρόλο που είναι ευκολότερο να εγκατασταθούν απαιτούν σημαντικά περισσότερη περιοχή (περίπου 232,25 m²/RT) από άλλους τύπους εναλλακτών. Αντίθετα οι κάθετοι βρόχοι απαιτούν μόνο τα περίπου 23,23 έως 27,87 m²/RT.

Το βάθος της γεώτρησης επηρεάζει άμεσα το κόστος του συστήματος. Μεγαλύτερο βάθος γεώτρησης σημαίνει, μεγαλύτερες δαπάνες διάτρησης και μεγαλύτερο μήκος σωλήνα ο οποίος πρέπει να αγοραστεί. Επομένως ο ακριβής υπολογισμός του βάθους αυτού είναι πολύ σημαντικός στην επίτευξη μιας ακριβούς εκτίμησης του κόστους εγκατάστασης του συστήματος. Για το λόγο αυτό, για μεγάλες απαιτείται πλήρης εδαφοτεχνική μελέτη ώστε να διαπιστωθούν επακριβώς οι ιδιότητες του εδάφους, οδηγώντας σε ακριβέστερες εκτιμήσεις του απαιτούμενου βάθους γεώτρησης. Επομένως οι εδαφολογικές ιδιότητες δηλαδή η αγωγιμότητα και η θερμική διαχυτότητα πρέπει να προέλθουν είτε από μια δοκιμή στην περιοχή της εγκατάστασης (ground testing) είτε από μια ακριβή εκτίμηση. Στην προκειμένη περίπτωση θα υποθέσουμε τις ιδιότητες του μέσου εδάφους.

Η πυκνότητα και η υγρασία του εδάφους αποτελούν σημαντικά στοιχεία για τη σχεδίαση του βρόχου. Συνεπώς:

- Όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα (πιο υγιής βράχος), τόσο καλύτερη είναι η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους
- Όσο μεγαλύτερη είναι η υγρασία, τόσο καλύτερα γίνεται η μεταφορά θερμότητας από το έδαφος.

Ενδεικτικά παραθέτουμε τον ακόλουθο πίνακα:

PROPERTIES FOR VARIOUS SOIL TYPES				
Select a soil by pressing its identification number.				
Soil Description	Thermal Cond. Btu/hr*ft*F	Density lb/ft ³	Specific Heat Btu/lb*F	Volumetric Heat Capacity Btu/ft ³ *F
1 - Dense Rock	2.0	200	0.2	40.00
2 - Average Rock	1.4	175	0.2	35.00
3 - Heavy Soil, Sat.	1.4	200	0.2	40.00
4 - Heavy Soil, Damp	0.75	131	0.23	30.13
5 - Heavy Soil, Dry	0.5	100	0.25	25.00
6 - Light Soil, Damp	0.5	100	0.25	25.00
7 - Light Soil, Dry	0.2	90	0.20	18.00

Εικόνα 3.1.1.3.1: Θερμικές ιδιότητες διαφόρων τύπων εδαφών (ASHRAE, 1997)

3.1.2 Οικονομικές έννοιες επενδυτικής ανάλυσης

Με τη βοήθεια της οικονομικής υπορουτίνας του λογισμικού Retscreen είναι δυνατή η εκτίμηση της οικονομικής βιωσιμότητας ενός επενδυτικού εγχειρήματος, όπως αποτελεί και η εφαρμογή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η οποία αποτελεί συγκερασμό πολλών παραγόντων. Ειδικότερα εξαρτάται από: το ύψος των πάγιων δαπανών για αγορά εξοπλισμού και κατασκευή, τις λειτουργικές δαπάνες, τη διάρκεια ζωής του έργου, το κόστος της ενέργειας που υποκαθιστάται, το κόστος του χρήματος, την ύπαρξη εναλλακτικών επενδυτικών προτάσεων.

Με την εισαγωγή των κατάλληλων οικονομικών παραμέτρων, προσεγγίζεται η καθαρή παρούσα αξία, ο εσωτερικός δείκτης αποδοτικότητας αλλά και η περίοδος απόσβεσης (payback), στοιχεία αναμφισβήτητα πολύτιμα για τον εκάστοτε επενδυτή. Βασικές παραδοχές είναι οι ακόλουθες:

- Ο χρόνος έναρξης της επένδυσης είναι το έτος $n=0$.
- Το κόστος και οι πιστώσεις ξεκινούν να τρέχουν από το έτος $n=0$, αλλά το επιτόκιο πληθωρισμού εφαρμόζεται από το έτος $n=1$.
- Οι χρηματοροές πραγματοποιούνται στο τέλος κάθε έτους.

Στο σημείο αυτό παρατίθεται ένα σύντομο «γλωσσάριο» όρων, οι οποίοι αποτελούν αναπόσπαστα συνδεδεμένο κομμάτι κάθε οικονομοτεχνικής ανάλυσης:

1. Ετήσιες οφειλές (debt payment)
2. Προ φόρου χρηματοροή (pre – tax cash flow): η καθαρή ετήσια χρηματοροή που αποφέρει το έργο χωρίς τους φόρους: $C_n = C_{in,n} - C_{out,n}$ [19]
3. Εξερχόμενη χρηματοροή (cash outflow): για το έτος $n=0$ ισοδυναμεί με το κόστος χρηματοδότησης του έργου. Για τα επόμενα έτη υπολογίζεται ως εξής: $C_{out,n} = C_{O\&M} \cdot (1 + r)^n + C_{fuel} \cdot (1 + r_e)^n + D + C_{per} \cdot (1 + r_i)^n$ [20]

Όπου n : το έτος

$C_{O\&M}$: το ετήσιο λειτουργικό κόστος και κόστος συντήρησης του έργου

r_i : το επιτόκιο πληθωρισμού

C_{fuel} : το ετήσιο κόστος καυσίμου ή ηλεκτρικής ενέργειας

r_e : το επιτόκιο πληθωρισμού για το κόστος καυσίμου

D : η ετήσια οφειλή

C_{per} : το ετήσιο περιοδικό κόστος που επιβάλλεται από το σύστημα

4. Εισερχόμενη χρηματοροή (cash inflow): για το έτος $n=0$ ισοδυναμεί με τις τυχόν επιδοτήσεις ή άλλα παρεχόμενα κίνητρα. Για τα επόμενα έτη υπολογίζεται ως εξής:

$$C_{in,n} = C_{ener} \cdot (1 + r_e)^n + C_{capa} \cdot (1 + r_i)^n + C_{RE} \cdot (1 + r_{RE})^n + C_{GHG} \cdot (1 + r_{GHG})^n \quad [21]$$

Όπου: n : το έτος

C_{ener} : το ετησίως εξοικονομούμενο ενεργειακό κόστος

C_{capa} : το ετήσιο εισόδημα

C_{RE} : το ετησίως παραγόμενο εισόδημα από εκμετάλλευση ΑΠΕ

r_{RE} : ο ετήσιος πληθωρισμός για την ΑΠΕ

Επιλογή μεταξύ εναλλακτικών προτάσεων

Στο περιβάλλον μιας επιχείρησης υπάρχουν πολλές επενδυτικές προτάσεις. Είναι σαφές ότι δεν είναι δυνατόν να χρηματοδοτηθούν όλες. Επομένως πρέπει να υπάρχει ένα κατάλληλο σύστημα ιεράρχησης των επενδυτικών προτάσεων έτσι ώστε ο εκάστοτε ενδιαφερόμενος να καταλήξει στην επιλογή της πιο συμφέρουσας για εκείνον επένδυσης. Το πρόβλημα της αξιολόγησης μιάς επένδυσης, ανάγεται τελικά στον υπολογισμό του εσωτερικού βαθμού απόδοσης (IRR) και της καθαρής παρούσας αξίας (ΚΠΑ), τα οποία είναι γενικά αποδεκτά ως κριτήρια αξιολόγησης επενδύσεων.

3.1.2.1 Καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ)

Η Καθαρή Παρούσα Αξία μιας επένδυσης είναι η διαφορά μεταξύ της παρούσας αξίας των n καθαρών ταμειακών ροών (ΚΤΡ) της επένδυσης, προεξοφλημένων στο παρόν με επιτόκιο i , και του αρχικού κεφαλαίου (K_0) που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί η επένδυση σήμερα. Διαφορετικά, αν προεξοφληθούν με το επιθυμητό επιτόκιο απόδοσης, στο σήμερα, οι ταμειακές ροές που θα προκύψουν (ως προβλέψεις) κατά την διάρκεια της λειτουργίας της επένδυσης.

$$ΚΠΑ = \sum_{t=1}^n \frac{ΚΤΡ_t}{(1+i)^t} - K_0 \quad [22]$$

- Σε περίπτωση που η παρούσα αξία των αναμενόμενων ταμειακών ροών από την επένδυση σήμερα είναι πιο υψηλή από το απαιτούμενο κόστος της επένδυσης, δηλαδή η $KPIA > 0$, η επένδυση γίνεται αποδεκτή.
- Σε περίπτωση που η $KPIA = 0$, ο επενδυτής πρέπει να είναι αδιάφορος με βάση αυτή το κριτήριο επιλογής.
- Σε περίπτωση που η $KPIA < 0$, η επένδυση δεν πρέπει να γίνει αποδεκτή.

Το αντίστοιχο επιτόκιο που υπαισέρχεται στον τύπο, ονομάζεται **προεξοφλητικό** επιτόκιο. Σε μια οικονομία ωστόσο, δεν υπάρχει μόνο ένα επιτόκιο. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι επιτοκίων ανάλογα με τη μορφή της επένδυσης. Αδρά, το γενικό επίπεδο των επιτοκίων καθορίζεται και αυτό από το σύστημα της προσφοράς και της ζήτησης. Υπάρχει δηλαδή η λεγόμενη αγορά χρήματος και το χρήμα όπως ένα οποιοδήποτε αγαθό προσφέρεται και ζητείται, γεγονός που μεταβάλλει την «τιμή» του, δηλαδή το επιτόκιο.

Αναφορικά με τις επενδύσεις, υπάρχει μια ανάλογη σχέση κινδύνου-απόδοσης(επιτοκίου). Όσο πιο σίγουρη (χαμηλότερο ρίσκο) είναι η επένδυση τόσο χαμηλότερο θα είναι το επιτόκιο της απόδοσης. *Όσο μεγαλώνει ο κίνδυνος της επένδυσης τόσο μεγαλώνει και το επιτόκιο.*

Η σχέση κινδύνου – απόδοσης που περιγράφηκε παραπάνω, προσδιορίζει και την έννοια του **risk premium** (πριμ κινδύνου). Αν κάποιος επενδυτής είναι αδιάφορος μεταξύ α) μιας επένδυσης με ετήσια απόδοση 8%, και β) μιας επένδυσης με αναμενόμενη απόδοση 11%, τότε, και εφ' όσον η πρώτη θεωρείται δεδομένο ότι είναι μια επένδυση χωρίς κίνδυνο, η δεύτερη έχει ένα πριμ κινδύνου 3%.

Επομένως το risk premium είναι η πρόσθετη απόδοση που πρέπει να αποφέρει μια επένδυση με μεγαλύτερο κίνδυνο από την απόδοση άλλων επενδύσεων μικρότερου κινδύνου, για να υπάρχει ζήτηση γι' αυτές.

3.1.2.2 Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (IRR):

Ο συντελεστής της εσωτερικής απόδοσης είναι εκείνο το επιτόκιο που θα εξισώσει την παρούσα αξία των προβλεπόμενων μελλοντικών ροών ή εισπράξεων της επένδυσης με το κόστος της επένδυσης. Το μέγεθος αυτό δηλαδή, ισούται με το επιτόκιο r το οποίο πρέπει να ισχύει, ούτως ώστε εάν επενδύσουμε σήμερα ένα ποσό X να έχουμε μετά από π.χ. 1 έτος ένα ποσό XX .

$$\sum_{t=1}^n \frac{P_t}{(1+i)^t} - K_0 = 0 \quad [23]$$

Όπου: K_0 , το αρχικό κόστος της επένδυσης,

P_1, P_2, \dots, P_t , οι προβλεπόμενες ροές της επένδυσης

i , το επιτόκιο προεξόφλησης

Χρηματοροπή καλείται κάθε έσοδο ή δαπάνη που πραγματοποιείται μια δεδομένη χρονική στιγμή. Θετικού προσήμου χρηματοροές θεωρούνται όλες οι εισροές μετρητών από χρηματοδοτικούς πόρους (κεφάλαια, δανεισμός, πιστώσεις, κ.τ.λ.), καθώς και τα έσοδα πωλήσεων της μονάδας (εισπράξεις). Αρνητικού προσήμου χρηματοροές θεωρούνται τα συνολικά πάγια έξοδα για την αγορά και εγκατάσταση, το λειτουργικό κόστος, η αποπληρωμή των δανείων, οι πληρωμές των φόρων και οι λοιπές πληρωμές που μπορεί να πραγματοποιηθούν.

Επιτόκιο αναγωγής είναι ο ρυθμός με τον οποίο μεταβάλλεται η αξία του χρήματος με την πάροδο του χρόνου ένα χρηματικό ποσό που είναι διαθέσιμο σήμερα είναι περισσότερο χρήσιμο από ένα ίσο που διατίθεται κάποια χρονική στιγμή στο μέλλον. Συνακόλουθα, η αξία μιας χρηματοροής εξαρτάται από την χρονική στιγμή στην οποία αναφερόμαστε. Επομένως αφού ένα επενδυτικό σχέδιο συντίθεται από μια σειρά χρηματοροών, καθεμία από τις οποίες συντελείται σε διαφορετική χρονική στιγμή, αυτές λόγω της χρονικής μεταβολής της αξίας του χρήματος δεν είναι ομοιογενείς και άρα συγκρίσιμες. Καθίσταται συνεπώς αναγκαία η αναγωγή όλων των χρηματοροών σε κοινή χρονική βάση, είτε με ανατοκισμό είτε με προεξόφληση. Με το μεν ανατοκισμό, οι σημερινές αξίες μετατρέπονται σε ισοδύναμες μελλοντικές, με βάση ένα ορισμένο επιτόκιο i . Με τη δε προεξόφληση, οι μελλοντικές, ανάγονται σε σημερινές. Ισχύει επομένως:

$$S = P * (1 + i)^n \quad [24]$$

$$P = \frac{S}{(1+i)^n}, \quad [25]$$

Όπου:

i , το επιτόκιο αναγωγής

P , η παρούσα αξία μιας μελλοντικής χρηματοροής

S , η τελική αξία μετά από n έτη

n , ο αριθμός των ετών

Με τον όρο **πληθωρισμό**, εννοούμε την αύξηση των τιμών των αγαθών και υπηρεσιών, εκπεφρασμένο ως μια ετήσια ποσοστιαία μεταβολή τους. Η μεταβολή αυτή είναι συνάρτηση της μεταβολής των τιμών ενός συγκεκριμένου φάσματος καταναλωτικών αγαθών και υπηρεσιών, που θεωρούνται αντιπροσωπευτικά των αναγκών του μέσου καταναλωτή (Δείκτης Τιμών Καταναλωτή = ΔΚΣ). Η αξία επομένως μιας μελλοντικής χρηματορροής σε συνθήκες πληθωρισμού υπολογίζεται ως:

$$S = P * \frac{(1+i)^n}{(1+f_n)} \quad [26]$$

Όπου:

f_n , ο μέσος συντελεστής πληθωρισμού για τη διάρκεια των n ετών

3.1.2.3 Απλή αποπληρωμή (Simple Payback, SP)

Η **απλή αποπληρωμή** συνιστά τον αριθμό των ετών που απαιτείται προκειμένου το συνολικό καθαρό κέρδος της επένδυσης να αποσβέσει το αρχικό επενδεδυμένο κεφάλαιο.

Στο πάγιο έξοδο ενός θερμικού ηλιακού συστήματος συμπεριλαμβάνεται ο συλλέκτης, η δεξαμενή, οι σωλήνες και η αντλία. Το λειτουργικό κόστος είναι σχεδόν ανύπαρκτα. Το αρχικό κόστος επένδυσης αποτελεί το 90-99% του συνολικού κόστους (σε όλη τη διάρκεια ζωής του συστήματος).

Παράλληλα υπάρχει μια γεωγραφική διακύμανση των οικονομικών μεγεθών. Η παραγωγή ενέργειας, ανά τετραγωνικό μέτρο συλλέκτη, είναι διπλάσια στη νότια Ευρώπη, λόγω μεγαλύτερης ηλιοφάνειας. Η διάρκεια ζωής των καλής ποιότητας ηλιακών θερμικών συστημάτων είναι 20-25 έτη, με ελάχιστες απαιτήσεις σε κόστος για συντήρηση και λειτουργία. Τα ορθώς σχεδιασμένα συστήματα έχουν κόστος παραγωγής θερμότητας της τάξης 3-9 λεπτών/kWh.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η γεωθερμία θεωρείται μία από τις πιο σημαντικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στις εφαρμογές γεωθερμίας για παραγωγή θερμότητας, το πάγιο κόστος περιλαμβάνει τη γεώτρηση, τον εξοπλισμό και το δίκτυο διανομής

θέρμανσης. Το κόστος της γεώτρησης εξαρτάται από το βάθος της, τα χαρακτηριστικά του πεδίου, αλλά και το σημείο στο οποίο γίνεται. Ο απαιτούμενος εξοπλισμός της γεωθερμικής εγκατάστασης καθορίζεται κυρίως από τις θερμικές ανάγκες που πρέπει να εξυπηρετηθούν, καθώς επίσης και από το ύψος των θερμικών απωλειών.

Στο **φόρο εισοδήματος** δίδεται η δυνατότητα επιλογής του να υπεισέρχεται στην οικονομική ανάλυση το εισόδημα του χρήστη. Έτσι, το λογισμικό θα εκτιμά τους διάφορους οικονομικούς συντελεστές μετά τη φορολόγηση του έργου.

Στο **συντελεστή φόρου εισοδηματικής επίπτωσης** εισάγεται το ποσοστό του φόρου εισοδήματος, το οποίο είναι το ποσοστό του καθαρού εισοδήματος που προέρχεται από την επένδυση και φορολογείται.

Στον **κυλιόμενο φόρο καυσίμου** εισάγεται το προβαλλόμενο ετήσιο ποσοστό αύξησης του κόστους της ενέργειας κατά τη διάρκεια της ζωής της επένδυσης. Με άλλα λόγια δύναται η τιμή του καυσίμου να ακριβαίνει με διαφορετικό ρυθμό από τον τρέχοντα πληθωρισμό.

Στη **διάρκεια φοροαπαλλαγών** δίδεται ο αριθμός ετών κατά τη διάρκεια των οποίων το πρόγραμμα είναι απαλλαγμένο από φόρους.

Στη **διάρκεια πίστωσης μείωσης εκπομπών ΑΤΘ** δίδεται ο αριθμός ετών, για τον οποίο ο χρήστης θα απολαμβάνει τις πιστώσεις μείωσης μη εκπομπής ΑΤΘ.

Στον **κυλιόμενο φόρο πίστωσης μείωσης εκπομπών ΑΤΘ** δίδεται ο μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής της πίστωσης μείωσης εκπομπών ΑΤΘ, ο οποίος ενδέχεται να διαφέρει από το επιτόκιο του πληθωρισμού.

3.1.3 Περιβαλλοντική αποτίμηση - Εκτίμηση εκπομπών CO₂

Το Retscreen υπολογίζει τις ετήσιες μειώσεις εκπομπών CO₂A για ένα έργο καθαρής ενέργειας ως προς ένα σύστημα βασικού σεναρίου αναφοράς. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε μη εκπεμπόμενους t CO₂/y, ανεξάρτητα από τον τύπο των ρύπων που εκλύει η συγκεκριμένη επένδυση. Λαμβάνει υπ' όψιν δύο συνιστώσες:

- Βασικό σενάριο αναφοράς (τυπική συμβατική τεχνολογία)
- Προτεινόμενο σενάριο (τεχνολογία καθαρής ενέργειας)

Όπου η ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ (t CO₂) ισούται με τη διαφορά του παράγοντα εκπομπής (t CO₂/MWh) του βασικού σεναρίου αναφοράς ως προς τον παράγοντα (t

CO₂/MWh) του προτεινόμενου σεναρίου, επί την ετήσια αποδιδόμενη ενέργεια τελικής χρήσης σε (MWh).

Για το σκοπό αυτόν, οι ποσότητες CH₄ και NO_x έχουν μετατραπεί σε ισοδύναμες CO₂, βάσει της συνεισφοράς τους στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή. Εισάγεται η έννοια του συντελεστή εκπομπής σε t CO₂/y, Η εφαρμογή έχει παράλληλα τη δυνατότητα να συνυπολογίσει και τις απώλειες λόγω φαινομένων μεταφοράς και διάχυσης, καθώς επίσης και τα κόστη των συναλλαγών πίστωσης ΑΤΘ.

Δίδεται η δυνατότητα ακολούθησης τριών μεθοδολογιών:

- Τυπική ανάλυση: Το λογισμικό χρησιμοποιεί αυτόματα τυπικές τιμές της βιομηχανίας και της IPCC για:
 - Παράγοντες ισοδυναμίας CO₂, για CH₄ και N₂O
 - Εκπομπές CO₂, CH₄, και N₂O για κοινά καύσιμα
 - Απόδοση για μετατροπή καυσίμου σε θερμότητα ή ηλεκτρισμό
- Εξατομικευμένη ανάλυση: ο χρήστης προσδιορίζει αυτές τις τιμές
- Εξειδικευμένη από το χρήστη (ανάλυση): ο χρήστης εισάγει άμεσα τους παράγοντες εκπομπών ΑΤΘ (Έκδοση 3.0 ή ανώτερη)
- Δεν προσδιορίζει καύσιμα και απόδοση μετατροπών

3.1.4 Ανάλυση ευαισθησίας

Το Retscreen δύναται να υπολογίσει την ευμεταβλητότητα ή μη διαφόρων δεικτών που συμβάλλουν καθοριστικά στην προσέλευση ή μη του επίδοξου επενδυτή, με μεταβολή διαφόρων παραμέτρων.

Η ανάλυση ευαισθησίας είναι μία μέθοδος η οποία εφαρμόζεται για να προσδιορίσει την ευαισθησία της λύσης ενός προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού στις μεταβολές των παραμέτρων του.

Συγκεκριμένα η γραφική λύση μας δίνει πληροφορίες που αφορούν

- 1) στη βέλτιστη λύση του προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού
- 2) στο διαχωρισμό των περιορισμών σε δεσμευτικούς ή χαλαρούς
- 3) τις δυϊκές τιμές
- 4) το βέλτιστο εύρος των αντικειμενικών συντελεστών, δηλαδή, την αλλαγή που μπορούμε να επιφέρουμε σε ένα αντικειμενικό συντελεστή χωρίς να αλλάξει η βέλτιστη λύση

5) το εύρος εφικτότητας των δεξιών μελών των περιορισμών, δηλαδή, την αλλαγή που μπορούμε να επιφέρουμε σε ένα δεξιό μέλος περιορισμού χωρίς να αλλάξει η εφικτή περιοχή ή χωρίς να αλλάξει η δυϊκή τιμή του περιορισμού.

Οι σπουδαιότεροι δείκτες απόφασης είναι οι ακόλουθοι:

- Εσωτερικού Συντελεστή Απόδοσης (IRR/ROI)
- Έτος απλής αποπληρωμής
- Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)

Μεταβλητές που επιλέγονται είναι συνηθέστερα οι ακόλουθες:

- Αποδιδόμενη ΑΠΕ & κόστος ενέργειας που αποφεύγεται
- Αρχικό κόστος & κόστος ενέργειας που αποφεύγεται
- Επιτόκιο δανεισμού & περίοδος χρέους
- Καθαρές μειώσεις εκπομπών ΑΤΘ & πιστώσεις μείωσης εκπομπών ΑΤΘ
- Αποδιδόμενη ΑΠΕ & παραγωγή πίστωσης ΑΠΕ

Η Μέθοδος Monte Carlo είναι μια αριθμητική μέθοδος για την επίλυση μαθηματικών, φυσικών και οικονομικών συστημάτων. Η βασική ιδέα της μεθόδου είναι ότι μπορούμε να αντικαταστήσουμε ένα ντετερμινιστικό πρόβλημα με ένα πιο απλό πιθανοτικό αντίστοιχο. Η ανάλυση προαπαιτεί την παραγωγή τυχαίων αριθμών. Όσο πιο «τυχάιοι» είναι αυτοί οι αριθμοί, τόσο πιο κοντά στην πραγματικότητα είναι και τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Ο χρήστης συχνά είναι αβέβαιος για πολλές παραμέτρους εισόδου, διαθέτοντας απλώς μια «διαίσθηση» για το πόσο οι παράμετροι εισόδου μπορεί να αποκλίνουν από τα συγκεκριμένα επίπεδα. Στην ανάλυση επικινδυνότητας, ο χρήστης καθορίζει, για κάθε παράμετρο από μια λίστα των βασικών μεταβλητών εισόδου, το εύρος της διαφοράς που είναι πιθανό να επέλθει. Αν όλες αυτές οι μεταβλητές διαφέρουν ταυτόχρονα και ανεξάρτητα, εντός του καθορισμένου εύρους, προκύπτει ο βαθμός επιρροής των διαφόρων χρηματοοικονομικών δεικτών.

Το λογισμικό RETScreen εκτελεί μια προσομοίωση Monte Carlo: επαναλαμβάνει την ανάλυση 500 φορές, αφήνοντας κάθε μεταβλητή ταυτόχρονα να διαφέρει εντός των ορίων που καθορίζονται από το χρήστη. Από αυτές τις 500 επαναλήψεις, υπολογίζει την πιθανότητα η οικονομική παράμετρος ενδιαφέροντος, για παράδειγμα, η καθαρή παρούσα αξία, να εμπίπτει σε ένα εύρος τιμών. Ταυτόχρονα, με το ευέλικτο διάγραμμα “Tornado” διαφαίνεται ποιες είναι οι παράμετροι που έχουν τη

μεγαλύτερη επιρροή στο επενδυτικό πλάνο καθώς και πώς, αλλαγές στις παραμέτρους επηρεάζουν τους δείκτες οικονομικής βιωσιμότητας του έργου.

3.1.5 Αναλύσεις - αποτελέσματα

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται συγκριτική ανάλυση μεταξύ δύο εναλλακτικών λύσεων ΑΠΕ, αυτής του κεντρικού θερμικού ηλιακού συστήματος (Θ.Η.Σ.) και της εγκατάστασης γεωθερμικών αντλιών θερμότητας (Γ.Α.Θ.) κλειστού τύπου με κατακόρυφους γεωεναλλάκτες, με σκοπό τη θέρμανση εσωτερικής κολυμβητικής δεξαμενής, επιφανείας 150m² και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης για ξενοδοχειακή μονάδα δυναμικότητας 120 κλινών στην περιοχή Λάρισας. Και στις δύο περιπτώσεις, το βασικό σενάριο αναφοράς είναι η χρήση λέβητα φυσικού αερίου. Οι δύο μελέτες περιπτώσεων εκπονήθηκαν μέσω του λογισμικού RETScreen® International (www.retscreen.com), με βάσει τις ακόλουθες παραδοχές:

- Κόστος φυσικού αερίου: 0,9 €/m³
- Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας: 0,09€/kWh
- Χρήση καλύμματος της κολυμβητικής δεξαμενής για τις ώρες που δε θα χρησιμοποιείται.
- Χρήση ηλιακών συλλεκτών υαλοκάλυπτου τύπου
- Χρήση κατακόρυφων γεωεναλλακτών τύπου U, Φ32
- Διάρκεια ζωής της επένδυσης: 20 έτη
- Πληθωρισμός: 2,5%
- Επιτόκιο αναγωγής για τον υπολογισμό της ΚΠΑ: 10%
- Κυλιόμενος φόρος καυσίμου σεναρίου αναφοράς (φυσικού αερίου): 3%
- Θεωρούμε επίσης ότι ο επενδυτής διαθέτει το 70% του απαιτούμενου αρχικού κεφαλαίου και «μοχλεύει» την επένδυση, δανειζόμενος το υπόλοιπο 30% με ένα επιτόκιο δανεισμού 7% με δέσμευση αποπληρωμής για τα 10έτη.
- Συντελεστής εκπομπής αερίων ρύπων (ανηγμένη τιμή σε CO₂) για το φυσικό αέριο: 0,474t CO₂ / MWh καταναλούμενου φυσικού αερίου

Κατόπιν εφαρμογής του λογισμικού Retscreen για την περίπτωση ξενοδοχειακής μονάδας στην περιοχή Αγιόκαμπου Λάρισας, προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα, τα οποία παρατίθενται υπό μορφή πινάκων, ούτως ώστε να καθίστανται άμεσα αντιληπτά.

Μέσα μηνιαία κλιματολογικά δεδομένα:

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα μέσα μηνιαία κλιματολογικά δεδομένα για την περιοχή της Λάρισας:

Μονάδα	Θέση κλιματολογικών δεδομένων		Τοποθεσία έργου	
	κλιματολογικών δεδομένων	Τοποθεσία έργου	κλιματολογικών δεδομένων	Τοποθεσία έργου
Γεωγραφικό πλάτος	°B	39,6	39,6	
Γεωγραφικό μήκος	°A	22,4	22,4	
Υψόμετρο	m	74	74	
Θερμοκρασία θέρμανσης βάσει σχεδιασμού	°C	-3,2		
Θερμοκρασία ψύξης βάσει σχεδιασμού	°C	34,4		
Πλάτος (διακύμανση) θερμοκρασίας εδάφους	°C	22,6		

Μήνας	Ημερήσια ηλιακή							
	Θερμοκρασία αέρα	Σχετική υγρασία	ακτινοβολία - Οριζόντια	Ατμοσφαιρική πίεση	Ταχύτητα ανέμου	Θερμοκρασία εδάφους	Βαθμο-ημέρες θέρμανσης	Βαθμο-ημέρες ψύξης
	°C	%	kWh/m ² /ημ	kPa	m/s	°C	°C-ημ	°C-ημ
Ιανουάριος	4,8	81,3%	1,95	97,3	1,2	3,4	409	0
Φεβρουάριος	5,8	75,8%	2,67	97,2	1,5	5,0	342	0
Μάρτιος	8,9	73,1%	3,68	97,1	1,9	9,4	282	0
Απρίλιος	13,2	69,7%	4,83	96,8	1,8	15,4	144	96
Μαΐος	18,6	64,3%	5,68	96,9	1,9	22,0	0	267
Ιούνιος	23,9	53,4%	6,91	96,9	2,3	27,6	0	417
Ιούλιος	26,0	52,2%	6,79	96,8	2,2	30,3	0	496
Αύγουστος	25,3	55,9%	6,09	96,9	2,0	29,6	0	474
Σεπτέμβριος	21,2	62,0%	4,76	97,1	1,8	24,6	0	336
Οκτώβριος	16,0	72,3%	2,99	97,4	1,4	17,5	62	186
Νοέμβριος	9,9	81,3%	1,95	97,3	1,1	10,0	243	0
Δεκέμβριος	5,7	84,6%	1,56	97,3	1,2	4,6	381	0
Ετήσιο	15,0	68,8%	4,16	97,1	1,7	16,7	1.863	2.272
Μετρημένο σε	m				10,0	0,0		

Εικόνα 3.1.5.1: Μέσοι όροι μηνιαίων κλιματολογικών δεδομένων για την περιοχή της Λάρισας (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Μήνας	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - Οριζόντια	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - κεκλιμένο επίπεδο
	kWh/m ² /ημ	kWh/m ² /ημ
Ιανουάριος	1,95	3,75
Φεβρουάριος	2,67	4,35
Μάρτιος	3,68	5,30
Απρίλιος	4,83	6,42
Μαΐος	5,68	6,86
Ιούνιος	6,91	8,32
Ιούλιος	6,79	8,39
Αύγουστος	6,09	8,27
Σεπτέμβριος	4,76	6,89
Οκτώβριος	2,99	4,49
Νοέμβριος	1,95	3,42
Δεκέμβριος	1,56	2,94
Ετήσιο	4,16	5,79

Εικόνα 3.1.5.2: Μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία σε kWh/m² για οριζόντιο και κεκλιμένο επίπεδο(40°)
(εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Συνεπώς το έτος έχουμε:

Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία - οριζόντιο επίπεδο	MWh/m ²	1,52
Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία - επικλινές επίπεδο (40°)	MWh/m ²	2,11

Ακολουθούν οι αναλύσεις για τις μελέτες περιπτώσεων που εξετάζονται:

Μελέτη περιπτώσεων 1: Θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής από Θ.Η.Σ. ή Γ.Α.Θ έναντι λέβητα φυσικού αερίου

- Σύστημα θερμικών ηλιακών συλλεκτών

Από την εφαρμογή προκύπτουν δύο ξεχωριστά φύλλα για κάθε χρήση:

Ενεργειακό Μοντέλο RETScreen - Έργο παραγωγής θερμότητας

Εργο παραγωγής θερμότητας		Ηλιακός θερμαντής νερού				
Τεχνολογία		<input checked="" type="radio"/> Πισίνα <input type="radio"/> Ζεστό νερό				
Χαρακτηριστικά φορτίου						
Εφαρμογή						
Τύπος	Μονάδα	Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη περίπτωση			
Επιφάνεια	m ²	Εσωτερικά 150,0	150,0			
Χρήση καλύμματος	ώρες/ημ	14,0	14,0			
Θερμοκρασία	°C	29,0	29,0			
Νερό αναπλήρωσης	%εβδ	7%	7%			
Ζήτηση θερμότητας	Μονάδα MWh	Βασική περίπτωση 85,2	Προτεινόμενη περίπτωση 85,2	Εξοικονομούμενη ενέργεια 0%		
Αξιολόγηση πηγών		<table border="1"> <tr> <td>Μονο-αξονικό</td> </tr> <tr> <td>40,0</td> </tr> <tr> <td>0,0</td> </tr> </table>		Μονο-αξονικό	40,0	0,0
Μονο-αξονικό						
40,0						
0,0						
Λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου	*					
Κλίση	*					
Αζιμούθιο	*					

Εικόνα 3.1.5.3: Χαρακτηριστικά κολυμβητικής δεξαμενής και ετήσια ζήτηση θερμότητας σε MWh (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Για τη θέρμανση της πισίνας, υπεισέρχονται ως δεδομένα ο τύπος της δεξαμενής – εσωτερική ή εξωτερική-, η έκταση της επιφανείας της, η ύπαρξη ή μη καλύμματος για κάποιες ώρες κατά τη διάρκεια της ημέρας προκειμένου να περιορίζονται οι απώλειες θερμότητας λόγω εξάτμισης, το ποσοστό του νερού αναπλήρωσης, καθώς επίσης η επιθυμητή θερμοκρασία του νερού και το ποσοστό χρήσης της πισίνας. Στην προκειμένη περίπτωση, η πισίνα λειτουργεί για το κοινό καθημερινά από τις 8 το πρωί μέχρι τις 18:00 το απόγευμα, οπότε τις υπόλοιπες 14 ώρες καλύπτεται. Η εφαρμογή εξάγει την ετήσια ζήτηση θερμότητας, που για την περίπτωσή μας ανέρχεται στις 85,2MWh.

Ακολουθούν τα χαρακτηριστικά των ηλιακών συλλεκτών:

Ηλιακός θερμαντής νερού		Υαλοκάλυπτος	
Τύπος		Vögelin Solartechnik	
Κατασκευαστής		Aldo 225	
Μοντέλο			
Συνολική επιφάνεια ανά ηλιακό συλλέκτη	m ²	2,53	
Επιφάνεια ανοίγματος ανά ηλιακό συλλέκτη	m ²	2,32	
Συντελεστής Fr (τ α)		0,69	
Συντελεστής Fr UL	(W/m ²)/°C	3,97	
Συντελεστής θερμοκρασίας για Fr UL	(W/m ²)/°C ²	0,000	
Αριθμός συλλεκτών		60	
Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	m ²	151,98	
Ισχύς	kW	97,48	
Λοιπές απώλειες	%	2,0%	
Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα			
Εναλλάκτης θερμότητας	ναί/όχι	Ναι	
Απόδοση εναλλάκτη θερμότητας	%	88,0%	
Λοιπές απώλειες	%	3,0%	
Ισχύς αντλίας / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	W/m ²	10,00	
Τιμή Ηλεκτρισμού	€/kWh	0,090	
Περίληψη			
Ηλεκτρική ζήτηση - αντλία	MWh	1,4	
Αποδιδόμενη θερμότητα	MWh	52,6	

Εικόνα 3.1.5.4: Χαρακτηριστικά συστήματος ηλιακών συλλεκτών για τη θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Για την περίπτωση που εξετάζουμε, προκειμένου να καλυφθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις για τη θέρμανση της πισίνας κατά 81% θα απαιτηθούν 60 συλλέκτες υαλοκάλυπτου τύπου, που θα καταλαμβάνουν έκταση 152 περίπου τετραγωνικών μέτρων, όσα δηλαδή περίπου και η επιφάνεια της πισίνας, όπως υπαγορεύει και ο εμπειρικός κανόνας (RETScreen® International, Clean Energy Decision Support Centre, Solar Water Heating Project Analysis). Ασφαλώς θα πρέπει να πληρούνται οι προϋποθέσεις της απαιτούμενης έκτασης. Ενδεικτικά οι ηλιακοί συλλέκτες δύνανται να τοποθετηθούν στην ταράτσα του ξενοδοχείου.

Ακολουθεί το φύλλο ανάλυσης κόστους και οικονομικής ανάλυσης:

Αναλυτικό κοστολόγιο:

Αρχικό κόστος

- Κατά Περδίο Στ., (Ηλιοθερμικές Εγκαταστάσεις, 2009) λαμβάνουμε ένα μέσο κόστος για το ένα σύστημα ηλιακών συλλεκτών υαλοκάλυπτου τύπου, το οποίο ανέρχεται στα 350€/m² και περιλαμβάνει και το κόστος σύνδεσης (σωλήνωσης) καθώς επίσης και το κόστος του απαιτούμενης ισχύος εναλλάκτη, ανηγμένα σε επιφάνεια συλλέκτη.
- Κόστος μεταφοράς και εγκατάστασης κυμαίνεται περί τα 40€/m² συλλέκτη

Ετήσιο λειτουργικό κόστος

- Κατά τη Χριστοδουλάκη, [Τεχνολογίες θέρμανσης κολυμβητικών δεξαμενών με ΘΗΣ, 2009], το μέσο λειτουργικό ετήσιο κόστος εξαρτάται από τη συχνότητα χρήσης της πισίνας και την περίοδο λειτουργίας της. Επιπλέον σχετίζεται με τον καθαρισμό των φίλτρων, τη χλωρίωση εναλλάκτη, τον έλεγχο του συστήματος, ενώ επιπλέον μείωση σχετίζεται και με τη χρήση καλύμματος. Στην παρούσα θέση, επιλέγεται ένα μέσο λειτουργικό κόστος περί τα 500 €/έτος.

Τέλος θεωρούμε και ένα επιπλέον κόστος της τάξης των 2000 € για το έτος 10 (στο μισό περίπου χρόνο ζωής του έργου) για τυχόν αλλαγές – αντικαταστάσεις ή έλεγχο από ειδήμονες.

Ανάλυση κόστους RETScreen - Έργο παραγωγής θερμότητας

Ρυθμίσεις					
<input checked="" type="radio"/> Μέθοδος 1	<input checked="" type="radio"/> Σημειώσεις/Εύρος	Σημειώσεις/Εύρος <input type="text" value="Καμία"/>			
<input type="radio"/> Μέθοδος 2	<input type="radio"/> Δεύτερο νόμισμα				
	<input type="radio"/> Κατανομή κόστους				
Αρχικό κόστος (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό	Σχετικό κόστος
Μελέτη σκοπιμότητας					
Μηχανολογικά	κόστος		€ 3.000	€ -	-
Υπο-σύνολο:				€ -	0,0%
Ανάπτυξη					
Ανάπτυξη	κόστος			€ -	-
Υπο-σύνολο:				€ -	0,0%
Μηχανολογικά					
Μηχανολογικά	κόστος			€ -	-
Υπο-σύνολο:				€ -	0,0%
Σύστημα θέρμανσης					
Ηλιακός θερμαντής νερού				€ -	-
Ηλιακοί συλλέκτες	κόστος	152	€ 350	€ 53.200	-
Υπο-σύνολο:				€ 53.200	85,5%
Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα					
Ανταλλακτικά	%			€ -	-
Μεταφορά	έργο			€ -	-
Εκπαίδευση & θέση σε λειτουργία	ανά ημέρα			€ -	-
Μεταφορά και εγκατάσταση	κόστος	152	€ 40	€ 6.080	-
Απρόβλεπτα	%			€ 59.280	2.964
Τόκος κατά την κατασκευή				€ 62.244	-
Υπο-σύνολο:				€ 9.044	14,5%
Συνολικά αρχικά κόστη				€ 62.244	100,0%
Ετήσια κόστη (πιστώσεις)					
Λειτουργία & Συντήρηση					
Τμήματα & Εργασία	έργο	1	€ 500	€ 500	-
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος			€ -	-
Απρόβλεπτα	%			€ 500	-
Υπο-σύνολο:				€ 500	-
Κόστος καυσίμου - προτεινόμενη περίπτωση					
Φυσικό Αέριο	m ³	2.598	€ 0,900	€ 2.338	-
Ηλεκτρική ενέργεια	MWh	2	€ 90,000	€ 160	-
Υπο-σύνολο:				€ 2.498	-
Ετήσια εξοικονόμηση					
Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση					
Φυσικό Αέριο	m ³	13.628	€ 0,900	€ 12.266	-
Υπο-σύνολο:				€ 12.266	-
Περιοδικά κόστη (πιστώσεις)					
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος	10	€ 2.000	€ 2.000	-
Τέλος διάρκειας ζωής έργου	κόστος			€ -	-

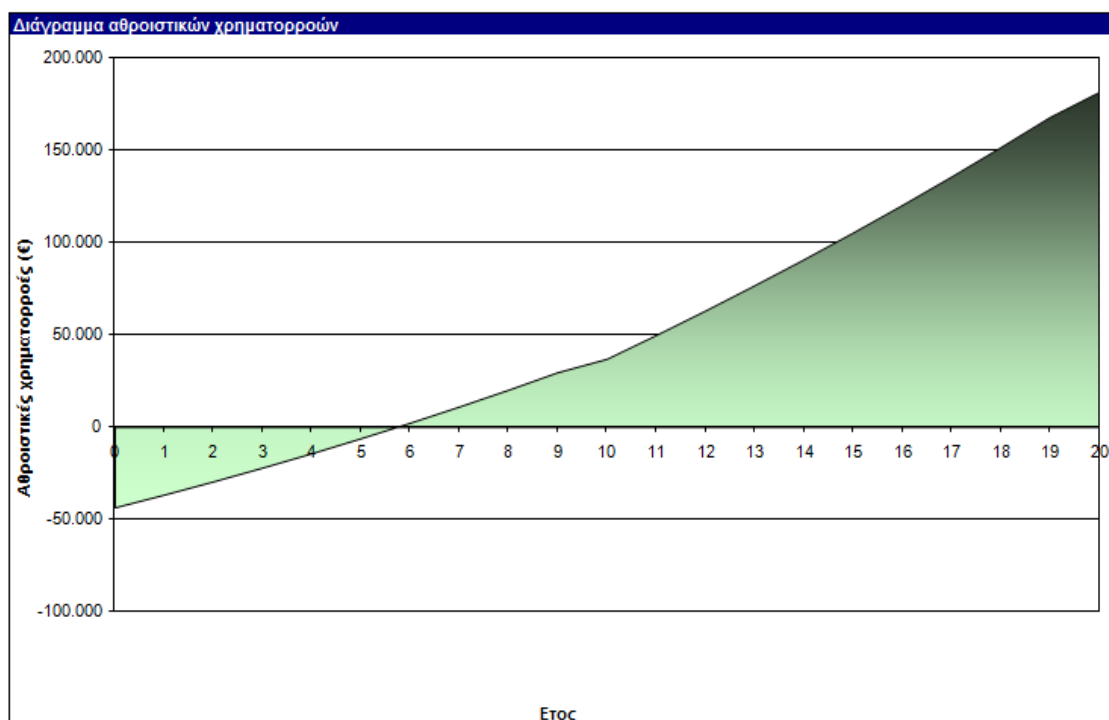
Εικόνα 3.1.5.5: Ανάλυση κόστους για τη θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής από σύστημα ηλιακών συλλεκτών (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Ακολουθεί ο πίνακας των ετησίων χρηματοροών για τη διάρκεια ζωής των 20 ετών, υπολογιζόμενος με ένα επιτόκιο αναγωγής 10% και έναν κυλιόμενο φόρο καυσίμου (φυσικού αερίου εν τω προκειμένω) της τάξης του 3% ετησίως. Το αντίστοιχο διάγραμμα χρηματοροών καθώς και οι οικονομικοί δείκτες του έργου διαφαίνονται ακολούθως. Αναμένεται απόσβεση της επένδυσης στα περίπου 6 έτη.

Ετήσια χρηματοροή				
Ετος	Προ-φόρων	Μετά-φόρων	Αθροιστικά	
#	€	€	€	
0	-43.571	-43.571	-43.571	
1	6.890	6.890	-36.681	
2	7.179	7.179	-29.502	
3	7.476	7.476	-22.026	
4	7.783	7.783	-14.243	
5	8.099	8.099	-6.144	
6	8.425	8.425	2.281	
7	8.760	8.760	11.041	
8	9.106	9.106	20.147	
9	9.462	9.462	29.609	
10	7.268	7.268	36.877	
11	12.865	12.865	49.742	
12	13.254	13.254	62.996	
13	13.655	13.655	76.651	
14	14.068	14.068	90.719	
15	14.494	14.494	105.213	
16	14.932	14.932	120.145	
17	15.384	15.384	135.529	
18	15.849	15.849	151.378	
19	16.329	16.329	167.707	
20	13.545	13.545	181.252	

Εικόνα 3.1.5.6: Ετήσιες χρηματοροές για τη διάρκεια ζωής του έργου θέρμανσης κολυμβητικής δεξαμενής από ηλιακούς συλλέκτες (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Παρατηρούμε στο σημείο αυτό ότι το λογισμικό αποδίδει τις χρηματοροές σε όρους «προ - και μετά- φόρων». Πρόκειται για διαχωρισμό που αφορά στην περίπτωση που ο χρήστης δύναται να παράξει ηλεκτρική ενέργεια και να την «πωλεί» στη ΔΕΗ, όπως για παράδειγμα στα φωτοβολταϊκά έργα. Ωστόσο, και στις δύο περιπτώσεις ΑΠΕ, δε συζητούμε για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ως εκ τούτου δεν υπεισέρχεται η έννοια του φόρου εισοδήματος από ΑΠΕ και συνεπώς οι δύο στήλες ταυτίζονται.



Εικόνα 3.1.5.7: Διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών και έτος απόσβεσης για τη θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής από ηλιακούς συλλέκτες (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Οικονομική Βιωσιμότητα		
Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης προ φόρων - μετοχί (IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	19,3%
(IRR) μετά-φόρου - μετοχές	%	13,6%
(IRR) μετά φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	19,3%
Απλή αποπληρωμή	έτος	6,7
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	5,7
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	38.590
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	4.533

Εικόνα 3.1.5.8: Δείκτες οικονομικής βιωσιμότητας του έργου θέρμανσης κολυμβητικής δεξαμενής από σύστημα ηλιακών συλλεκτών (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Η επένδυση φαίνεται να αποσβέννεται στα 6 περίπου έτη. Τόσο η καθαρή παρούσα αξία όσο και ο εσωτερικός δείκτης αποδοτικότητας του έργου μαρτυρούν την ευμενή οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης. Σημειώνεται δε ότι το μοντέλο υπολογίζει την απλή αποπληρωμή (απόσβεση) των ιδίων κεφαλαίων του χρήστη, η οποία αντιπροσωπεύει το χρονικό διάστημα μέχρι την ανάκτηση της αρχικής του επένδυσης, χωρίς να λαμβάνονται υπ' όψιν τυχούσες εισροές. Η αποπληρωμή

μετοχών θεωρεί τις ταμειακές ροές του έργου, συμπεριλαμβανομένης της «μόχλευσης» (επίπεδο του χρέους).

Στο παράδειγμά μας θεωρήθηκε ότι ο χρήστης δανείστηκε το 30% του αρχικού κόστους της επένδυσης, με ένα επιτόκιο 7% για δέκα έτη.

- **Σύστημα ΓΑΘ με κάθετους γεωεναλλάκτες**

Στο σημείο αυτό αντιμετωπίστηκε μια εγγενής, βασική αδυναμία της συγκεκριμένης εφαρμογής, η οποία δε δύναται στην παρούσα φάση να υπολογίζει ΓΑΘ με σκοπό τη θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής. Συνεπώς, κατασκευάστηκε ένα «ανάλογο», ένα κτίριο δηλαδή το οποίο θα απαιτεί ίδια ενέργεια για θέρμανση ετησίως με αυτήν που προέκυψε από το φύλλο των ηλιακών, δηλαδή περίπου 86 MWh ετησίως. Συνεπώς, επιλέχθηκε 1 ΓΑΘ και 6 κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες τύπου U, Φ32, βάθους 90m, με τα ακόλουθα τεχνικά χαρακτηριστικά:

Ενεργειακό Μοντέλο RETScreen - Έργο παραγωγής θερμότητας

Σύστημα θέρμανσης προτεινόμενης περίπτωσης		
Επιλογή Συστήματος	Σύστημα φορτίου βάσης	
Σύστημα θέρμανσης φορτίου βάσης	Αντλία θερμότητας	
Τεχνολογία	Μόνο ένα καύσιμο	
Μέθοδος επιλογής καυσίμου	Ηλεκτρική ενέργεια	
Τύπος Καυσίμου	€/MWh	90,000
Τιμή Καυσίμου		
Αντλία θερμότητας		
Ισχύς	kW	21,4
Αποδιδόμενη θερμότητα	MWh	86 100,0%
Κατασκευαστής	ClimateMaster	
Μοντέλο	HE 096	

Εικόνα 3.1.5.9: Τεχνικά χαρακτηριστικά συστήματος ΓΑΘ για θέρμανση της κολυμβητικής δεξαμενής

(εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Ως ειδικά κόστη του έργου συνοψίζονται ακολούθως τα κόστη του συστήματος γεωτρήσεων για τους γεωεναλλάκτες (τιμές κόστους από ερώτηση κατά τη διάρκεια σεμιναρίου: «Εργαστήριο Εφαρμοσμένων Τεχνολογιών ΑΠΕ», Μιχόπουλος Α., Απρίλιος 2012, Αθήνα):

Γεωθερμικός εναλλάκτης θερμότητας

Αντλία θερμότητας

Ισχύς
Μέσο φορτίο
Κατασκευαστής
Μοντέλο
Βαθμός απόδοσης
Συντελεστής επίδοσης - σχεδίαση

Μονάδα	Θέρμανση
kW	21,4
kW	21,0
ClimateMaster	
HE 096	
Τυποποιημένο	2,8

Συνθήκες τοποθεσίας

Τύπος εδάφους
Θερμοκρασία εδάφους
Πλάτος (διακύμανση) θερμοκρασίας εδάφους
Μετρημένο σε

Μονάδα	Τοποθεσία έργου	Θέση κλιματολογικό
	Βαθύς βρόχος	
°C	17,0	16,7
°C	6,0	22,6
m	0,0	0,0

Γεωθερμικός εναλλάκτης θερμότητας

Τύπος
Κριτήρια σχεδιασμού
Επιφάνεια εδάφους
Σχεδιάγραμμα
Μήκος γεώτρησης

Κάθετος κλειστός βρόχος		
	Θέρμανση	146
m ²	150	
m	Τυποποιημένο	547

Περίληψη προτεινόμενης περίπτωσης	Τύπος Καυσίμου	Κατανάλωση Καυσίμου - μονάδα	Κατανάλωση καυσίμου	Ισχύς (kW)	Αποδοόμενη Ενέργεια (MWh)
Θέρμανση	Ηλεκτρική ενέργεια	MWh	29	21	86
Φορτίο βάσης			Σύνολο	21	86

Εικόνα 3.1.5.10: Τεχνικά χαρακτηριστικά συστήματος κατακόρυφων γεωεναλλακτών συστήματος ΓΑΘ για θέρμανση κολυμβητικής (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Ανάλυση κόστους RETScreen - Έργο παραγωγής θερμότητας

Ρυθμίσεις					
<input checked="" type="radio"/> Μέθοδος 1	<input checked="" type="radio"/> Σημειώσεις/Εύρος	Σημειώσεις/Εύρος	<input type="text" value="Καμία"/>		
<input type="radio"/> Μέθοδος 2	<input type="radio"/> Δεύτερο νόμισμα				
<input type="radio"/> Κατανομή κόστους					
Αρχικό κόστος (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό	Σχετικό κόστος
Μελέτη σκοπιμότητας					
Μελέτη και επίβλεψη εγκατάστασης ΓΑΘ	κόστος		€	-	
Υπο-σύνολο:			€	-	0,0%
Ανάπτυξη					
Ανάπτυξη	κόστος		€	-	
Υπο-σύνολο:			€	-	0,0%
Μηχανολογικά					
Μηχανολογικά	κόστος		€	-	
Υπο-σύνολο:			€	-	0,0%
Σύστημα θέρμανσης					
Φορτίο βάσης - Αντλία θερμότητας	kW	21,4	€ 550	€ 11.770	
Μέτρα ενεργειακής απόδοσης	έργο		€	-	
Ειδικά κόστη έργου- Σύστημα γεωεναλλακτών	κόστος	1	€ 82.750	€ 82.750	
Υπο-σύνολο:			€	94.520	95,2%
Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα					
Ανταλλακτικά	%		€	-	
Μεταφορά	έργο		€	-	
Εκπαίδευση & θέση σε λειτουργία	ανά ημέρα		€	-	
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος		€	-	
Απρόβλεπτα	%	5,0%	€ 94.520	€ 4.726	
Τόκος κατά την κατασκευή			€ 99.246	€	
Υπο-σύνολο:			€	4.726	4,8%
Συνολικά αρχικά κόστη			€	99.246	100,0%
Ετήσια κόστη (πιστώσεις)					
Λειτουργία & Συντήρηση	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό	
Τμήματα & Εργασία	έργο		€	-	
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος		€	-	
Απρόβλεπτα	%		€	-	
Υπο-σύνολο:			€	-	
Κόστος καυσίμου - προτεινόμενη περίπτωση					
Ηλεκτρική ενέργεια	MWh	29	€ 90,000	€ 2.565	
Υπο-σύνολο:			€	2.565	
Ετήσια εξοικονόμηση					
Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό	
Φυσικό Αέριο	m ³	13.686	€ 0,900	€ 12.318	
Υπο-σύνολο:			€	12.318	
Περιοδικά κόστη (πιστώσεις)					
Αντικαταστάσεις - επισκευές	Μονάδα	Ετος	Μονάδα κόστους	Ποσό	
	κόστος		€	-	
			€	-	
Τέλος διάρκειας ζωής έργου	κόστος		€	-	

Εικόνα 3.1.5.11: Ανάλυση κόστους έργου εγκατάστασης συστήματος ΓΑΘ για θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Ειδικά κόστη έργου		Ποσότητα	Μονάδα κόστους €	Ποσό €
Κυκλοφορητής	kW	0,3	€ 1.000	€ 332
Κυκλοφορούν ρευστό	m ³	0,10	€ -	€ -
Τρύπημα και τσιμεντενέσεις	m	547	€ 70	€ 38.279
Βρόγχος σωληνώσεων	m	1.094	€ 40	€ 43.748
Εξαρτήματα & βαλβίδες	kW	19,6	€ 20	€ 391
Σύνολο				€ 82.750

Εικόνα 3.1.5.12: Ανάλυση κόστους συστήματος γεωεναλλακτών για θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής
(εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

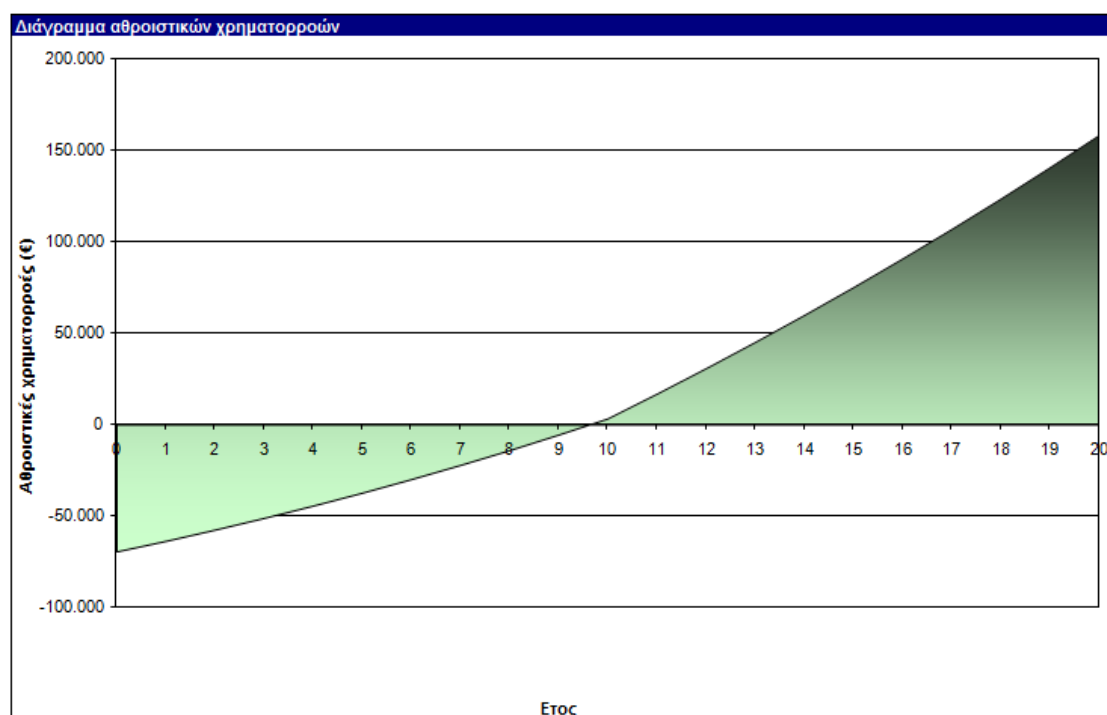
Ακολουθεί πίνακας των αθροιστικών χρηματοροών για τη διάρκεια ζωής του έργου (20 έτη) καθώς επίσης και οι οικονομικοί δείκτες βιωσιμότητας. Το συγκεκριμένο πλάνο είναι αρκετά βιώσιμο διότι ο αρχικός προϋπολογισμός του έργου, εξ' αιτίας των ενεργειακών απαιτήσεων, είναι σχετικά μικρός σε σχέση με άλλες εφαρμογές γεωθερμίας. Η αποπληρωμή εκτιμάται στα περίπου 10 έτη. Παρατηρούμε επίσης ότι η καθαρή παρούσα αξία του έργου με γεωθερμία για τη συγκεκριμένη περίπτωση είναι αρκετά μικρότερη από την αντίστοιχη περίπτωση εγκατάστασης ηλιακών, γεγονός που σημαίνει ότι μεταξύ των δύο εναλλακτικών σχεδίων, είναι προτιμητέα η εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών.

Ετήσια χρηματοροή			
Ετος	Προ-φόρων	Μετά-φόρων	Αθροιστικά
#	€	€	€
0	-69.472	-69.472	-69.472
1	5.806	5.806	-63.667
2	6.107	6.107	-57.560
3	6.417	6.417	-51.142
4	6.737	6.737	-44.405
5	7.066	7.066	-37.339
6	7.405	7.405	-29.934
7	7.755	7.755	-22.179
8	8.115	8.115	-14.064
9	8.485	8.485	-5.579
10	8.867	8.867	3.288
11	13.499	13.499	16.787
12	13.904	13.904	30.691
13	14.321	14.321	45.013
14	14.751	14.751	59.764
15	15.194	15.194	74.957
16	15.649	15.649	90.606
17	16.119	16.119	106.725
18	16.602	16.602	123.328
19	17.100	17.100	140.428
20	17.613	17.613	158.041

Εικόνα 3.1.5.13: Ετήσιες χρηματοροές για τη διάρκεια ζωής του έργου θέρμανσης κολυμβητικής δεξαμενής από ΓΑΘ και σύστημα κατακόρυφων γεωεναλλακτών (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Οικονομική Βιωσιμότητα		
Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης προ φόρων - μετοχή (IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	11,5%
(IRR) μετά-φόρου - μετοχές	%	11,5%
(IRR) μετά φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	7,5%
Απλή αποπληρωμή	έτος	10,2
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	9,6
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	9.452
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	1.110

Εικόνα 3.1.5.14: Δείκτες οικονομικής βιωσιμότητας του έργου θέρμανσης κολυμβητικής δεξαμενής από ΓΑΘ και σύστημα κατακόρυφων γεωεναλλακτών (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)



Εικόνα 3.1.5.15: Διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών και έτος απόσβεσης για τη θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής από ΓΑΘ και σύστημα κατακόρυφων γεωεναλλακτών (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Μελέτη περιπτώσεων 2: Παροχή ζεστού νερού χρήσης από Θ.Η.Σ. ή Γ.Α.Θ.

• **Σύστημα ηλιακών συλλεκτών**

Η δυναμικότητα του ξενοδοχείου ανέρχεται σε 120 κλίνες. Για να είμαστε υπέρ της ασφαλείας θεωρούμε ποσοστό κατοίκησης 100% , 7 ημέρες την εβδομάδα και επιθυμητή θερμοκρασία νερού στους 60° C.

	Μονάδα	Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη περίπτωση
Τύπος φορτίου		Ξενοδοχείο/Μοτέλ	
Αριθμός μονάδων	Μονάδα	120	
Ποσοστό κατοίκησης	%	100%	
Ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού - εκτίμηση	L/ημ	9.096	
Ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού	L/ημ	10.000	10.000
Θερμοκρασία	°C	60	60
Ωρες λειτουργίας ανά βδομάδα	ημ	7	7
Μέθοδος θερμοκρασίας παροχής		Τύπος	
Θερμοκρασία νερού - ελάχιστη	°C	11,4	
Θερμοκρασία νερού - μέγιστη	°C	18,8	
	Μονάδα	Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη περίπτωση
Ζήτηση θερμότητας	MWh	191,6	191,6

Εικόνα 3.1.5.16: Ετήσια ενεργειακή απαίτηση σε MWh ξενοδοχείου δυναμικότητας 120 κλινών για ζεστό νερό χρήσης στους 60° C (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Από την εφαρμογή προκύπτει ετήσια ζήτηση θερμότητας 191,6 MWh. Για κάλυψη του τουλάχιστον 60% των ενεργειακών αναγκών για ζεστό νερό χρήσης, βάσει της κείμενης νομοθεσίας που ισχύει πλέον για την εφαρμογή των ΑΠΕ (Νόμος 3851/2010 «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις», ΥΠΕΚΑ, ΦΕΚ Α' 85), προκύπτει το ακόλουθο σύστημα:

Ηλιακός θερμαντής νερού

Τύπος	Υαλοκάλυπτος	
Κατασκευαστής	Vögelin Solartechnik	
Μοντέλο	Aldo 225	
Συνολική επιφάνεια ανά ηλιακό συλλέκτη	m ²	2,53
Επιφάνεια ανοίγματος ανά ηλιακό συλλέκτη	m ²	2,32
Συντελεστής Fr (τα)		0,69
Συντελεστής Fr UL	(W/m ²)/°C	3,97
Συντελεστής θερμοκρασίας για Fr UL	(W/m ²)/°C ²	0,000
Αριθμός συλλεκτών		56
Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	m ²	141,85
Ισχύς	kW	90,98
Λοιπές απώλειες	%	3,0%

Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα

Αποθήκευση		Ναι
Χωρητικότητα αποθήκευσης / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	L/m ²	75
Χωρητικότητα αποθήκευσης	L	9.748,2
Εναλλάκτης θερμότητας	ναι/όχι	Ναι
Απόδοση εναλλάκτη θερμότητας	%	88,0%
Λοιπές απώλειες	%	3,0%
Ισχύς αντλίας / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	W/m ²	3,00
Τιμή Ηλεκτρισμού	€/kWh	0,090

Περίληψη

Ηλεκτρική ζήτηση - αντλία	MWh	0,9
Αποδιδόμενη θερμότητα	MWh	114,3

Εικόνα 3.1.5.17: Σύστημα ηλιακών συλλεκτών για κάλυψη ενεργειακών απαιτήσεων για ζεστό νερό χρήσης στους 60° C. (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Θα απαιτηθούν 56 ηλιακοί συλλέκτες υαλοκάλυπτου τύπου συνολικής επιφανείας περίπου 142m².

Ανάλυση κόστους RETScreen - Έργο παραγωγής θερμότητας

Ρυθμίσεις					
<input checked="" type="radio"/> Μέθοδος 1	<input checked="" type="radio"/> Σημειώσεις/Εύρος	Σημειώσεις/Εύρος	Καμία		
<input type="radio"/> Μέθοδος 2	<input type="radio"/> Δεύτερο νόμισμα				
	<input type="radio"/> Κατανομή κόστους				
Αρχικό κόστος (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό	Σχετικό κόστος
Μελέτη σκοπιμότητας					
Μελέτη σκοπιμότητας	κόστος		€	-	
Υπο-σύνολο:			€	-	0,0%
Ανάπτυξη					
Ανάπτυξη	κόστος		€	-	
Υπο-σύνολο:			€	-	0,0%
Μηχανολογικά					
Μηχανολογικά	κόστος		€	-	
Υπο-σύνολο:			€	-	0,0%
Σύστημα θέρμανσης					
Ηλιακός θερμαντής νερού			€	-	
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος	142	€	350	49.700
Υπο-σύνολο:			€	49.700	89,7%
Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα					
Ανταλλακτικά	%		€	-	
Μεταφορά	έργο		€	-	
Εκπαίδευση & θέση σε λειτουργία	ανά ημέρα		€	-	
Μεταφορά και εγκατάσταση	κόστος	142	€	40	5.680
Απρόβλεπτα	%		€	55.380	-
Τόκος κατά την κατασκευή			€	55.380	-
Υπο-σύνολο:			€	5.680	10,3%
Συνολικά αρχικά κόστη			€	55.380	100,0%
Ετήσια κόστη (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό	
Λειτουργία & Συντήρηση					
Τμήματα & Εργασία	έργο	1	€	500	500
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος		€	-	-
Απρόβλεπτα	%	5,0%	€	500	25
Υπο-σύνολο:			€	525	
Κόστος καυσίμου - προτεινόμενη περίπτωση					
Φυσικό Αέριο	m ³	11.421	€	0,900	10.278
Ηλεκτρική ενέργεια	MWh	1	€	90,000	79
Υπο-σύνολο:			€	10.357	
Ετήσια εξοικονόμηση	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό	
Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση					
Φυσικό Αέριο	m ³	28.313	€	0,900	25.481
Υπο-σύνολο:			€	25.481	
Περιοδικά κόστη (πιστώσεις)	Μονάδα	Ετος	Μονάδα κόστους	Ποσό	
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος	10	€	2.000	2.000
Υπο-σύνολο:			€	-	-
Τέλος διάρκειας ζωής έργου	κόστος		€	-	-

Εικόνα 3.1.5.18: Ανάλυση κόστους συστήματος ηλιακών συλλεκτών για κάλυψη ενεργειακών απαιτήσεων για ζεστό νερό χρήσης στους 60^ο C. (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

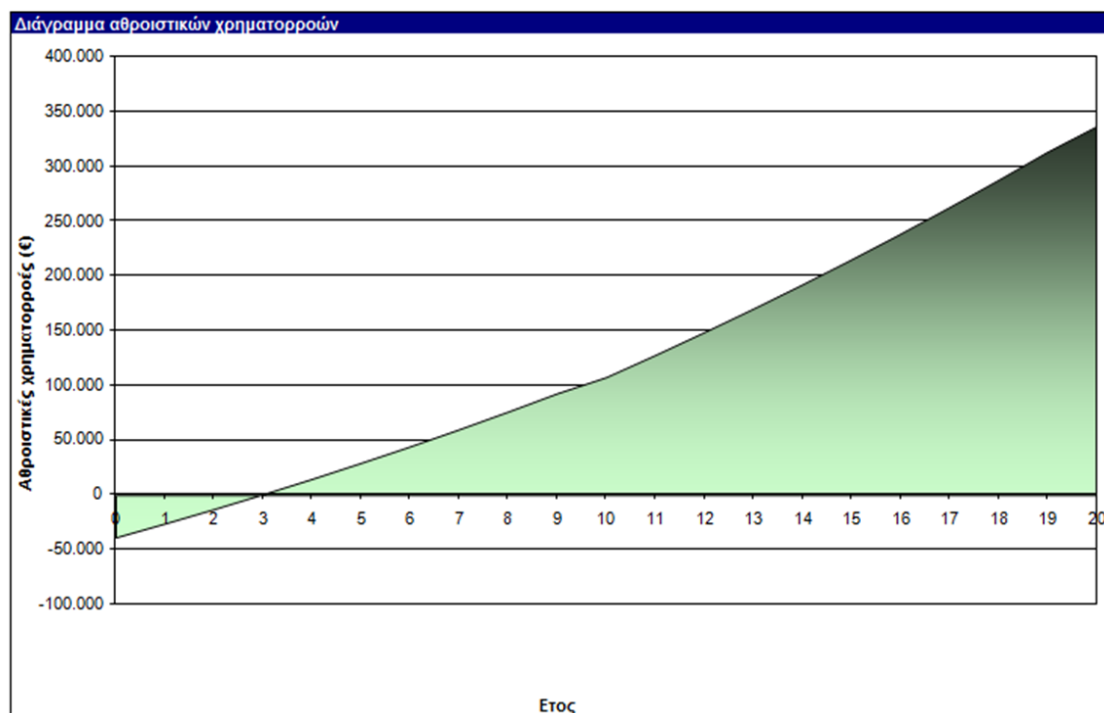
Ακολουθεί ο πίνακας των ετήσιων χρηματοροών για τη διάρκεια ζωής των 20 ετών, το αντίστοιχο διάγραμμα χρηματοροών καθώς και οι οικονομικοί δείκτες του έργου. Αναμένεται απόσβεση της επένδυσης στα περίπου 3,5 έτη.

Ετήσια χρηματοροή			
Ετος	Προ-φόρων	Μετά-φόρων	Αθροιστικά
#	€	€	€
0	-38.766	-38.766	-38.766
1	12.674	12.674	-26.092
2	13.128	13.128	-12.964
3	13.596	13.596	632
4	14.077	14.077	14.709
5	14.573	14.573	29.282
6	15.085	15.085	44.367
7	15.611	15.611	59.978
8	16.154	16.154	76.132
9	16.712	16.712	92.844
10	14.728	14.728	107.572
11	20.246	20.246	127.818
12	20.857	20.857	148.675
13	21.486	21.486	170.162
14	22.135	22.135	192.296
15	22.802	22.802	215.098
16	23.490	23.490	238.589
17	24.199	24.199	262.788
18	24.929	24.929	287.716
19	25.681	25.681	313.397
20	23.178	23.178	336.575

*Εικόνα 3.1.5.19: Πίνακας ετήσιων χρηματοροών για τη διάρκεια ζωής του έργου κάλυψης ενεργειακών απαιτήσεων για ζεστό νερό χρήσης στους 60° C από σύστημα ηλιακών συλλεκτών
(εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)*

Οικονομική Βιωσιμότητα		
Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης προ φόρων - μετοχή	%	36,2%
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	26,2%
(IRR) μετά-φόρου - μετοχές	%	36,2%
(IRR) μετά φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	26,2%
Απλή αποπληρωμή	έτος	3,8
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	3,0
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	102.592
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	12.050

Εικόνα 3.1.5.20: Δείκτες οικονομικής βιωσιμότητας για κάλυψη ενεργειακών απαιτήσεων για ζεστό νερό χρήσης στους 60° C από σύστημα ηλιακών συλλεκτών (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)



Εικόνα 3.1.5.21: Διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών και έτος απόσβεσης για κάλυψη ενεργειακών απαιτήσεων για ζεστό νερό χρήσης στους 60° C από σύστημα ηλιακών συλλεκτών (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Η ταχύτερη απόσβεση του εγχειρήματος σε σχέση με τη θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής από ηλιακούς συλλέκτες έγκειται στο γεγονός ότι εξοικονομείται ετησίως πολύ μεγαλύτερη ποσότητα φυσικού αερίου – κόστος καυσίμου βασικής περίπτωσης.

• **Σύστημα ΓΑΘ με κάθετους γεωεναλλάκτες**

Με όμοιο τρόπο, δημιουργήθηκε το αντίστοιχο κτιριακό ανάλογο, το οποίο θα απαιτεί θερμαντικά φορτία ίσα με εκείνα που προκύπτουν από τους υπολογισμούς για παροχή ζεστού νερού σε ξενοδοχείο δυναμικότητας 120 κλινών. Αντίστοιχα, για την περίπτωση αυτή, για το σύστημα Γ.Α.Θ. με κατακόρυφους γεωεναλλάκτες προκύπτει:

Σύστημα θέρμανσης προτεινόμενης περίπτωσης			
Επιλογή Συστήματος	Σύστημα φορτίου βάσης		
Σύστημα θέρμανσης φορτίου βάσης	Αντλία θερμότητας		
Τεχνολογία	Μόνο ένα καύσιμο		
Μέθοδος επιλογής καυσίμου	Ηλεκτρική ενέργεια		
Τύπος Καυσίμου	€/MWh	90,000	
Τιμή Καυσίμου			
Αντλία θερμότητας			
Ισχύς	kW	45,0	111,6%
Αποδιδόμενη θερμότητα	MWh	192	100,0%
Κατασκευαστής	IVT		
Μοντέλο	Greenline G		

Γεωθερμικός εναλλάκτης θερμότητας			
Αντλία θερμότητας	Μονάδα	Θέρμανση	
Ισχύς	kW	45,0	
Μέσο φορτίο	kW	45,0	
Κατασκευαστής	IVT		
Μοντέλο	Greenline G		
Βαθμός απόδοσης	Τυποποιημένο		
Συντελεστής επίδοσης - σχεδίαση		2,8	
Συνθήκες τοποθεσίας	Μονάδα	Τοποθεσία έργου	Θέση κλιματολογική
Τύπος εδάφους		Βαρύς βρόχος	
Θερμοκρασία εδάφους	°C	17,0	16,7
Πλάτος (διακύμανση) θερμοκρασίας εδάφους	°C	6,0	22,6
Μετρημένο σε	m	0,0	0,0
Γεωθερμικός εναλλάκτης θερμότητας	Κάθετος κλειστός βρόχος		
Τύπος		Θέρμανση	
Κρήρια σχεδιασμού			
Επιφάνεια εδάφους	m ²	350	321
Σχεδιάγραμμα		Τυποποιημένο	
Μήκος γέωτρησης	m	1.168	

Περίληψη προτεινόμενης περίπτωσης	Τύπος Καυσίμου	Κατανάλωση Καυσίμου - μονάδα	Κατανάλωση καυσίμου	Ισχύς (kW)	Αποδιδόμενη Ενέργεια (MWh)
Θέρμανση					
Φορτίο βάσης	Ηλεκτρική ενέργεια	MWh	55	45	192
Φορτίο αιχμής	Φυσικό Αέριο	m ³	0	0	0
			Σύνολο	45	192

Εικόνα 3.1.5.22: Τεχνικά χαρακτηριστικά συστήματος ΓΑΘ για κάλυψη ενεργειακών απαιτήσεων για ζεστό νερό χρήσης στους 60° C (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Για την περίπτωση αυτή, θα απαιτηθούν 10 κατακόρυφες γεωτρήσεις βάθους 116m, τύπου U, Φ32. Ακολουθεί ο πίνακας κοστολόγησης, με ανάλυση της τιμολόγησης των συμπαρομαρτούντων εργασιών που υφίστανται

Ανάλυση κόστους RET Screen - Έργο παραγωγής θερμότητας

Ρυθμίσεις					
<input checked="" type="radio"/> Μέθοδος 1	<input checked="" type="radio"/> Σημειώσεις/Εύρος	Σημειώσεις/Εύρος	Καμία		
<input type="radio"/> Μέθοδος 2	<input type="radio"/> Δεύτερο νόμισμα				
	<input type="radio"/> Κατανομή κόστους				
Αρχικό κόστος (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό	Σχετικό κόστος
Μελέτη σκοπιμότητας					
Μελέτη σκοπιμότητας	κόστος			€	-
Υπο-σύνολο:				€	0,0%
Ανάπτυξη					
Ανάπτυξη	κόστος			€	-
Υπο-σύνολο:				€	0,0%
Μηχανολογικά					
Μηχανολογικά	κόστος			€	-
Υπο-σύνολο:				€	0,0%
Σύστημα θέρμανσης					
Φορτίο βάσης - Αντλία θερμότητας	kW	45,0	€ 550	€	24.750
Μέτρα ενεργειακής απόδοσης	έργο			€	-
Ειδικά κόστη έργου- Σύστημα γεωαναλλακτών	κόστος	1	€ 176.756	€	176.756
Υπο-σύνολο:				€	201.506 95,2%
Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα					
Ανταλλακτικά	%			€	-
Μεταφορά	έργο			€	-
Εκπαίδευση & θέση σε λειτουργία	ανά ημέρα			€	-
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος			€	-
Ατρόβλεπτα	%	5,0%	€ 201.506	€	10.075
Τόκος κατά την κατασκευή			€ 211.581	€	-
Υπο-σύνολο:				€	10.075 4,8%
Συνολικά αρχικά κόστη				€	211.581 100,0%
Ετήσια κόστη (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό	
Λειτουργία & Συντήρηση					
Τμήματα & Εργασία	έργο			€	-
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος			€	-
Ατρόβλεπτα	%		€	-	-
Υπο-σύνολο:				€	-
Κόστος καυσίμου - προτεινόμενη περίπτωση					
Ηλεκτρική ενέργεια	MWh	57	€ 90.000	€	5.094
Υπο-σύνολο:				€	5.094
Ετήσια εξοικονόμηση	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό	
Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση					
Φυσικό Αέριο	m ³	29.266	€ 0,900	€	26.340
Υπο-σύνολο:				€	26.340

Εικόνα 3.1.5.23: Ανάλυση κόστους για κάλυψη ενεργειακών απαιτήσεων για ζεστό νερό χρήσης στους 60^ο C από σύστημα ΓΑΘ με κατακόρυφους γεωαναλλάκτες (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Ειδικά κόστη έργου		Ποσότητα	Μονάδα κόστους €	Ποσό €
Κυκλοφορητής	kW	0,7	€ 1.000	€ 699
Κυκλοφορούν ρευστό	m ³	0,21		€ -
Τρύπημα και τσιμεντενέσεις	m	1.168	€ 70	€ 81.776
Βρόγχος σωληνώσεων	m	2.336	€ 40	€ 93.458
Εξαρτήματα & βαλβίδες	kW	41,1	€ 20	€ 822
Σύνολο				€ 176.756

Εικόνα 3.1.5.24: Ανάλυση κόστους για σύστημα κατακόρυφων γεωεναλλακτών για κάλυψη ενεργειακών απαιτήσεων για ζεστό νερό χρήσης στους 60^ο C.

(εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

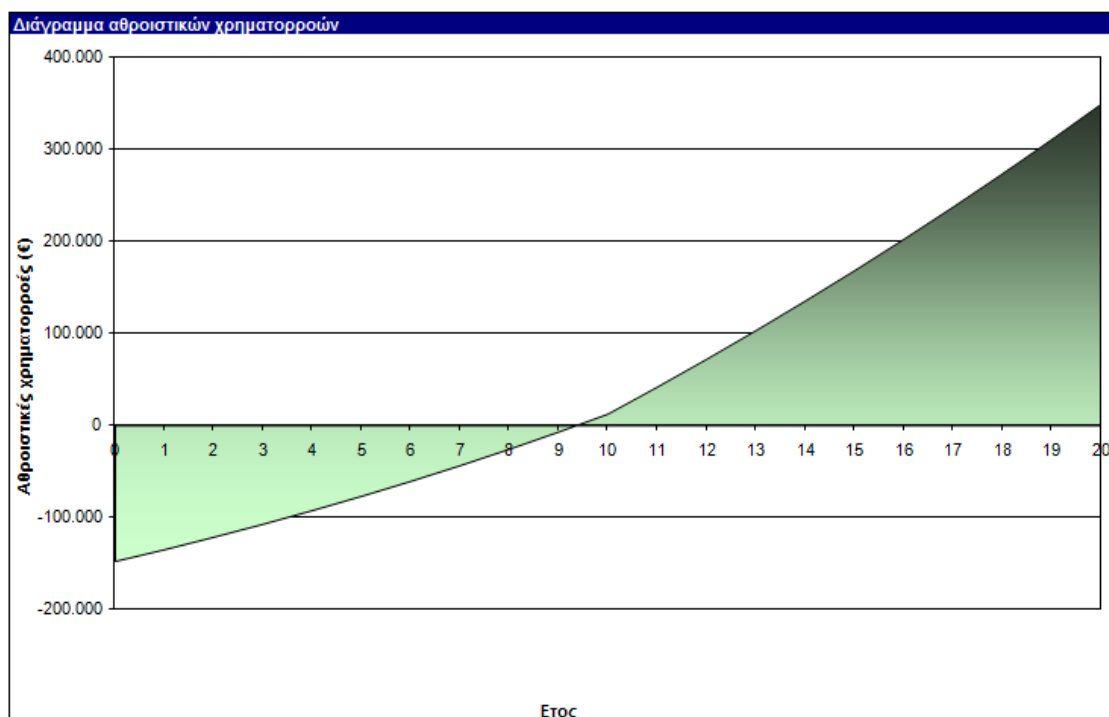
Ακολουθεί ο αντίστοιχος πίνακας αθροιστικών χρηματοροών και οικονομικών δεικτών του σεναρίου, καθώς επίσης και το διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών για τη διάρκεια ζωής του έργου.

Ετήσια χρηματοροή				
Ετος	Προ-φόρων	Μετά-φόρων	Αθροιστικά	
#	€	€	€	
0	-148.107	-148.107	-148.107	
1	12.846	12.846	-135.261	
2	13.502	13.502	-121.759	
3	14.178	14.178	-107.581	
4	14.875	14.875	-92.706	
5	15.592	15.592	-77.114	
6	16.331	16.331	-60.783	
7	17.092	17.092	-43.690	
8	17.876	17.876	-25.814	
9	18.683	18.683	-7.131	
10	19.515	19.515	12.384	
11	29.409	29.409	41.793	
12	30.291	30.291	72.084	
13	31.200	31.200	103.284	
14	32.136	32.136	135.420	
15	33.100	33.100	168.520	
16	34.093	34.093	202.613	
17	35.116	35.116	237.729	
18	36.169	36.169	273.898	
19	37.254	37.254	311.153	
20	38.372	38.372	349.525	

Εικόνα 3.1.5.25: Ετήσιες χρηματοροές για κάλυψη ενεργειακών απαιτήσεων για ζεστό νερό χρήσης στους 60° C από σύστημα ΓΑΘ με κατακόρυφους γεωεναλλάκτες (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Οικονομική Βιωσιμότητα		
Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης προ φόρων - μετοχή	%	11,9%
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	7,8%
(IRR) μετά-φόρου - μετοχές	%	11,9%
(IRR) μετά φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	7,8%
Απλή αποπληρωμή	έτος	10,0
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	9,4
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	25.051
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	2.942

Εικόνα 3.1.5.26: Δείκτες οικονομικής βιωσιμότητας για κάλυψη ενεργειακών απαιτήσεων για ζεστό νερό χρήσης στους 60° C από σύστημα ΓΑΘ με κατακόρυφους γεωεναλλάκτες (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)



Εικόνα 3.1.5.27: Διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών και έτος απόσβεσης για κάλυψη ενεργειακών απαιτήσεων για ζεστό νερό χρήσης στους 60° C από σύστημα ΓΑΘ με κατακόρυφους γεωεναλλάκτες (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Περιβαλλοντικές αποτιμήσεις:

Ακολουθεί η αποτίμηση της ετήσιας εξοικονόμησης αερίων ρύπων, ανηγμένων σε CO₂, βάσει του ισοδύναμου συντελεστή μετατροπής για το φυσικό αέριο σε 0,474t

CO₂ / MWh καταναλούμενου φυσικού αερίου. Εκτιμήθηκε προσαύξηση της τάξης του 6% για μεταφορά και διάχυση στην ατμόσφαιρα (Μπραουδάκη, 2007).

• **Θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής από Θ.Η.Σ.**

Ανάλυση μείωσης εκπομπών RETScreen - Έργο παραγωγής θερμότητας

Ανάλυση Εκπομπών

- Μέθοδος 1
- Μέθοδος 2
- Μέθοδος 3

Βασική περίπτωση συστήματος ηλεκτρισμού (Σενάριο Αναφοράς)

Κράτος - περιφέρεια	Τύπος Καυσίμου	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ (εξαιρούνται Μ&Δ)	Απώλειες Μ&Δ	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ
		tCO ₂ /MWh	%	tCO ₂ /MWh
Ελλάδα	Φυσικό Αέριο	0,446	6,0%	0,474

Αλλαγές στο Σενάριο Αναφοράς κατά τη διάρκεια ζωής του έργου

Περίληψη εκπομπών ΑΤΘ βασικού σεναρίου (σεναρίου αναφοράς)

Τύπος Καυσίμου	Μίγμα καυσίμου %	Κατανάλωση καυσίμου	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ	Εκπομπές ΑΤΘ
		MWh	tCO ₂ /MWh	tCO ₂
Φυσικό Αέριο	100,0%	142	0,179	25,4
Σύνολο	100,0%	142	0,179	25,4

Περίληψη εκπομπών ΑΤΘ προτεινόμενης περίπτωσης (Έργο παραγωγής θερμότητας)

Τύπος Καυσίμου	Μίγμα καυσίμου %	Κατανάλωση καυσίμου	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ	Εκπομπές ΑΤΘ
		MWh	tCO ₂ /MWh	tCO ₂
Φυσικό Αέριο	27,7%	27	0,179	4,8
Ηλιακό	70,5%	69	0,000	0,0
Ηλεκτρική ενέργεια	1,8%	2	0,474	0,8
Σύνολο	100,0%	98	0,058	5,7

Σύνοψη μείωσης εκπομπών ΑΤΘ

	Εκπομπές ΑΤΘ βασικής περίπτωσης tCO ₂	Εκπομπές ΑΤΘ προτεινόμενης περίπτωσης tCO ₂	Μικτή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ tCO ₂	Τέλη συναλλαγών πιστώσεων εκπομπών ΑΤΘ %	Καθαρή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ tCO ₂
Έργο παραγωγής θερμότητας	25,4	5,7	19,7		19,7
Καθαρή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	19,7	tCO ₂	ισοδυναμεί με	4,5	Στρέμματα δάσους που απορροφούν άνθρακα

Εικόνα 3.1.5.28: Πίνακας ετήσιας εξοικονόμησης εκπομπών ΑΤΘ σε tCO₂ για θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής από σύστημα θερμικών ηλιακών συλλεκτών έναντι λέβητα φυσικού αερίου (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Παρατηρούμε ότι η ετήσια εξοικονόμηση ανέρχεται σε 19,7 tCO₂/ έτος, το οποίο ισοδυναμεί με 4,5 στρέμματα δάσους που απορροφούν άνθρακα. Το πεδίο των τελών συναλλαγών πιστώσεων εκπομπών ΑΤΘ συμπληρώνεται όταν υπάρχει επιβάρυνση από τους παραγόμενους ρύπους. Στο παρόν σενάριο δεν υπάρχει τέτοια επιβάρυνση.

- Παροχή ζεστού νερού από Θ.Η.Σ.
- Παροχή ζεστού νερού από Θ.Η.Σ.

Ανάλυση μείωσης εκπομπών RETScreen - Έργο παραγωγής θερμότητας

Ανάλυση Εκπομπών

Μέθοδος 1
 Μέθοδος 2
 Μέθοδος 3

Βασική περίπτωση συστήματος ηλεκτρισμού (Σενάριο Αναφοράς)

Κράτος - περιφέρεια	Τύπος Καυσίμου	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ (τξαιρούνται Μ&Δ) tCO ₂ /MWh	Απώλειες Μ&Δ %	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ tCO ₂ /MWh
Ελλάδα	Φυσικό Αέριο	0,446	6,0%	0,474

Αλλαγές στο Σενάριο Αναφοράς κατά τη διάρκεια ζωής του έργου

Περίληψη εκπομπών ΑΤΘ βασικού σεναρίου (σεναρίου αναφοράς)

Τύπος Καυσίμου	Μίγμα καυσίμου %	Κατανάλωση καυσίμου MWh	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ tCO ₂ /MWh	Εκπομπές ΑΤΘ tCO ₂
Φυσικό Αέριο	100,0%	295	0,179	52,8
Σύνολο	100,0%	295	0,179	52,8

Περίληψη εκπομπών ΑΤΘ προτεινόμενης περίπτωσης (Έργο παραγωγής θερμότητας)

Τύπος Καυσίμου	Μίγμα καυσίμου %	Κατανάλωση καυσίμου MWh	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ tCO ₂ /MWh	Εκπομπές ΑΤΘ tCO ₂
Φυσικό Αέριο	50,8%	119	0,179	21,3
Ηλιακό	48,8%	114	0,000	0,0
Ηλεκτρική ενέργεια	0,4%	1	0,474	0,4
Σύνολο	100,0%	234	0,093	21,7

Σύνοψη μείωσης εκπομπών ΑΤΘ

Έργο παραγωγής θερμότητας	Εκπομπές ΑΤΘ βασικής περίπτωσης tCO ₂	Εκπομπές ΑΤΘ προτεινόμενης περίπτωσης tCO ₂	Μικτή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ tCO ₂	Τέλη συναλλαγών πιστώσεων εκπομπών ΑΤΘ %	Καθαρή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ tCO ₂
Έργο παραγωγής θερμότητας	52,8	21,7	31,1		31,1
Καθαρή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	31,1	tCO ₂	ισοδυναμεί με	7,1	Στρέμματα δάσους που απορροφούν άνθρακα

Εικόνα 3.1.5.29: Ετήσια εξοικονόμηση εκπομπών ΑΤΘ σε tCO₂ για παροχή ζεστού νερού χρήσης στους 60° C κατά 60% από σύστημα θερμικών ηλιακών συλλεκτών έναντι λέβητα φυσικού αερίου (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Παρατηρούμε ότι η ετήσια εξοικονόμηση ανέρχεται σε 31,1 tCO₂/ έτος, το οποίο ισοδυναμεί με 7,1 στρέμματα δάσους που απορροφούν άνθρακα.

• **Θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής από Γ.Α.Θ.**

Βασική περίπτωση συστήματος ηλεκτρισμού (Σενάριο Αναφοράς)		Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ (εξαιρούνται Μ&Δ)	Απώλειες Μ&Δ %	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ
Κράτος - περιφέρεια	Τύπος	tCO ₂ /MWh	%	tCO ₂ /MWh
Ελλάδα	Φυσικό Αέριο	0,446	6,0%	0,474

Εκπομπές ΑΤΘ				
Βασική περίπτωση	tCO ₂	25,5		
Προτεινόμενη περίπτωση	tCO ₂	13,8		
Μικτή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	tCO ₂	11,8		
Τέλη συναλλαγών πιστώσεων εκπομπών ΑΤΘ	%			
Καθαρή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	tCO ₂	11,8	ισοδυναμεί με	2,7
Στρέμματα δάσους που απορροφούν άνθρακα				

Εσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ				
Τιμή πίστωσης μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tCO ₂			

Εικόνα 3.1.5.30: Ετήσια εξοικονόμηση εκπομπών ΑΤΘ σε tCO₂ για θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής από σύστημα ΓΑΘ (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Παρατηρούμε ότι η ετήσια εξοικονόμηση ανέρχεται σε 11,8 tCO₂/ έτος, το οποίο ισοδυναμεί με 2,7 στρέμματα δάσους που απορροφούν άνθρακα.

• **Παροχή ζεστού νερού χρήσης από Γ.Α.Θ.**

Βασική περίπτωση συστήματος ηλεκτρισμού (Σενάριο Αναφοράς)		Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ (εξαιρούνται Μ&Δ)	Απώλειες Μ&Δ %	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ
Κράτος - περιφέρεια	Τύπος	tCO ₂ /MWh	%	tCO ₂ /MWh
Ελλάδα	Φυσικό Αέριο	0,446	6,0%	0,474

Εκπομπές ΑΤΘ				
Βασική περίπτωση	tCO ₂	52,8		
Προτεινόμενη περίπτωση	tCO ₂	26,1		
Μικτή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	tCO ₂	26,7		
Τέλη συναλλαγών πιστώσεων εκπομπών ΑΤΘ	%			
Καθαρή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	tCO ₂	26,7	ισοδυναμεί με	6,1
Στρέμματα δάσους που απορροφούν άνθρακα				

Εικόνα 3.1.5.31: Ετήσια εξοικονόμηση εκπομπών ΑΤΘ σε tCO₂ για θέρμανση ζεστό νερό χρήσης στους 60° C από σύστημα ΓΑΘ (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Παρατηρούμε ότι η ετήσια εξοικονόμηση ανέρχεται σε 26,7 tCO₂/ έτος, το οποίο ισοδυναμεί με 6,1 στρέμματα δάσους που απορροφούν άνθρακα.

Ανάλυση ευαισθησίας – επικινδυνότητας:

Ακολουθεί η ανάλυση ευαισθησίας για το πλέον αποδοτικό σενάριο, το οποίο στην περίπτωση μας είναι η εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών. Εξετάστηκε η ευαισθησία του οικονομικού δείκτη βιωσιμότητας καθαρής παρούσας αξίας (ΚΠΑ) για ένα εύρος μεταβολής των μεταβλητών ± 30%. Ως κατώφλι τέθηκε η τιμή 0,

καθώς για να είναι αποδοτική μία επένδυση θα πρέπει να έχει θετική ΚΠΑ. Οι συσχετιζόμενες μεταβλητές είναι το αρχικό κόστος της επένδυσης και το επιτόκιο δανεισμού, ως προς το κόστος καυσίμου βασικής περίπτωσης (φυσικό αέριο).

Στην ανάλυση επικινδυνότητας, για ένα εύρος αβεβαιότητας $\pm 10\%$ προκύπτει η επίδραση που έχουν ως προς την ΚΠΑ της επένδυσης οι ακόλουθες μεταβλητές: το κόστος καυσίμου βασικής και προτεινόμενης περίπτωσης, το αρχικό κόστος της επένδυσης, το επιτόκιο δανεισμού, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, το τοκοχρεολύσιο και η περίοδος χρέους.

- **Θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής από Θ.Η.Σ.**

Ανάλυση Ευαισθησίας και Επικινδυνότητας RETScreen - Έργο παραγωγής θερμότητας

✓ Ανάλυση ευαισθησίας

Εκτέλεση ανάλυσης σε
Εύρος ευαισθησίας
Κατώφλι

Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	
30%	
0	€

Αρχικά κόστη		Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση					€
		8.586	10.426	12.266	14.105	15.945	
€		-30%	-15%	0%	15%	30%	
43.571	-30%	16.954	36.758	56.562	76.366	96.170	
52.907	-15%	7.968	27.772	47.576	67.380	87.184	
62.244	0%	-1.018	18.786	38.590	58.394	78.198	
71.581	15%	-10.004	9.800	29.604	49.408	69.212	
80.917	30%	-18.990	814	20.618	40.422	60.226	

Επιτόκιο δανεισμού		Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση					€
		8.586	10.426	12.266	14.105	15.945	
%		-30%	-15%	0%	15%	30%	
4,90%	-30%	531	20.335	40.139	59.943	79.747	
5,95%	-15%	-234	19.570	39.374	59.178	78.982	
7,00%	0%	-1.018	18.786	38.590	58.394	78.198	
8,05%	15%	-1.820	17.984	37.788	57.592	77.396	
9,10%	30%	-2.639	17.165	36.969	56.773	76.577	

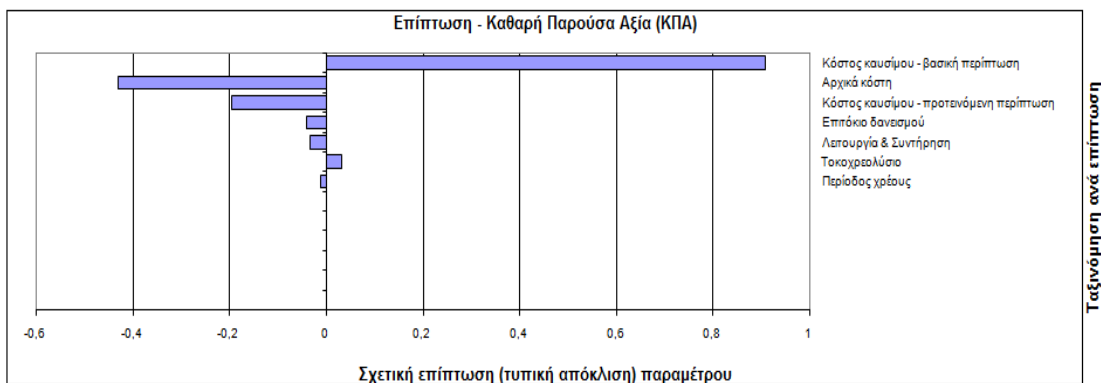
Εικόνα 3.1.5.32: Ανάλυση ευαισθησίας ΚΠΑ ως προς μεταβλητές της επένδυσης για θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής από ηλιακά (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

✓ Ανάλυση επικινδυνότητας

Εκτέλεση ανάλυσης σε

Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)

Παράμετρος	Μονάδα	Τιμή	Εύρος(+/-)	Ελάχιστο	Μέγιστο
Αρχικά κόσθη	€	62.244	10%	56.020	68.468
Λειτουργία & Συντήρηση	€	500	10%	450	550
Κόστος καυσίμου - προτεινόμενη περίπτωση	€	2.498	10%	2.248	2.748
Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση	€	12.266	10%	11.039	13.492
Τοκοχρεολύσιο	%	30%	10%	27%	33%
Επιτόκιο δανεισμού	%	7,00%	10%	6,30%	7,70%
Περίοδος χρέους	έτος	10	10%	9	11



Εικόνα 3.1.5.33: Ανάλυση επικινδυνότητας ΚΠΑ ως προς μεταβλητές της επένδυσης για θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής από ηλιακά (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Κατά την ανάλυση ευαισθησίας για τα ζεύγη μεταβλητών: κόστος φυσικού αερίου – αρχικό κόστος του έργου και κόστος φυσικού αερίου – επιτόκιο δανεισμού, προκύπτει ότι η ΚΠΑ του εγχειρήματος, γίνεται αρνητική μόνο στην περίπτωση της μείωσης της τιμής του φυσικού αερίου κατά 30%, με ταυτόχρονη μεταβολή του αρχικού κόστους από 0 έως + 30% ή του επιτοκίου δανεισμού από -15% έως + 30%. Συνακόλουθα, διαφαίνεται στην ανάλυση επικινδυνότητας, ότι η πλέον «επικίνδυνη» μεταβλητή για την αποδοτικότητα του εγχειρήματος είναι το κόστος καυσίμου προ της αντικατάστασης με ηλιακά (φυσικό αέριο). Επηρεάζει σε βαθμό 90% την καθαρή παρούσα αξία για ένα ποσοστό αβεβαιότητας 10% και μάλιστα θετικά. Συνεπώς, αύξηση της σημερινής τιμής του φυσικού αερίου, καθιστά ολοένα και πιο ελκυστική την αντικατάσταση του συμβατικού καυσίμου με την εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών.

- Παροχή ζεστού νερού από Θ.Η.Σ.

Ακολουθούν οι αντίστοιχες αναλύσεις ευαισθησίας και επικινδυνότητας για παροχή ζεστού νερού από ηλιακά:

Ανάλυση Ευαισθησίας και Επικινδυνότητας RETScreen - Έργο παραγωγής θερμότητας

✓ Ανάλυση ευαισθησίας

Εκτέλεση ανάλυσης σε
Εύρος ευαισθησίας
Κατώφλι

Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	
30%	€
0	€

Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση	Αρχικά κόστη				€
	38.766	47.073	55.380	63.687	71.994
€	-30%	-15%	0%	15%	30%
17.837	36.298	28.303	20.308	12.313	4.318
21.659	77.440	69.445	61.450	53.455	45.460
25.481	118.583	110.587	102.592	94.597	86.602
29.304	159.725	151.730	143.734	135.739	127.744
33.126	200.867	192.872	184.877	176.881	168.886

Επίπλοιο δανεισμού	Αρχικά κόστη				€
	38.766	47.073	55.380	63.687	71.994
%	-30%	-15%	0%	15%	30%
4.90%	119.547	111.759	103.971	96.182	88.394
5.95%	119.071	111.180	103.290	95.399	87.509
7.00%	118.583	110.587	102.592	94.597	86.602
8.05%	118.083	109.981	101.879	93.777	85.675
9.10%	117.573	109.361	101.150	92.938	84.727

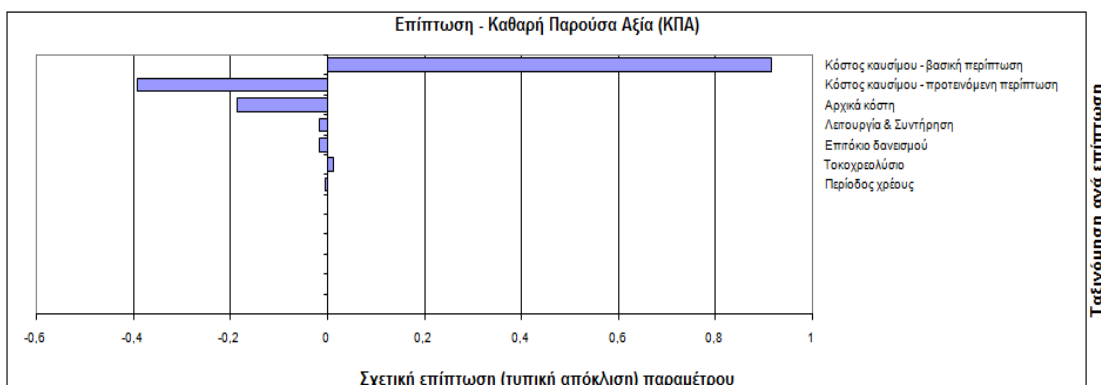
Εικόνα 3.1.5.34: Ανάλυση ευαισθησίας ΚΠΑ ως προς μεταβλητές της επένδυσης για ζεστό νερό στους 60° C από ηλιακά (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

✓ Ανάλυση επικινδυνότητας

Εκτέλεση ανάλυσης σε

Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)

Παράμετρος	Μονάδα	Τιμή	Εύρος(+/-)	Ελάχιστο	Μέγιστο
Αρχικά κόστη	€	55.380	10%	49.842	60.918
Λειτουργία & Συντήρηση	€	525	10%	473	578
Κόστος καυσίμου - προτεινόμενη περίπτωση	€	10.357	10%	9.322	11.393
Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση	€	25.481	10%	22.933	28.029
Τοκαχρεολύσιο	%	30%	10%	27%	33%
Επίπλοιο δανεισμού	%	7,00%	10%	6,30%	7,70%
Περίοδος χρέους	έτος	10	10%	9	11



Εικόνα 3.1.5.35: Ανάλυση επικινδυνότητας ΚΠΑ ως προς μεταβλητές της επένδυσης για ζεστό νερό στους 60° C από ηλιακά (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Στην περίπτωση αυτή, για ένα εύρος μεταβολής του κόστους καυσίμου βασικής περίπτωσης, δηλαδή του φυσικού αερίου κατά $\pm 30\%$, η ΚΠΑ παραμένει σε θετικά πρόσημα, παρά τη σημαντική μείωσή της, ακόμη και με μεταβολή $\pm 30\%$ των δύο

εταιριων μεταβλητών. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η επένδυση αυτή είναι αρκετά ελκυστική και αποδοτική, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνεται και από την ταχεία απόσβεση του εγχειρήματος, αλλά και από την υψηλή τιμή της ΚΠΑ, όπως υπολογίστηκαν παραπάνω.

- **Θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής από Γ.Α.Θ.**

Ανάλυση Ευαισθησίας και Επικινδυνότητας RETScreen - Έργο παραγωγής θερμότητας

Ανάλυση ευαισθησίας

Εκτέλεση ανάλυσης σε		Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)				
Εύρος ευαισθησίας		30%				
Κατώφλι		0				€
		Αρχικά κόστη				€
Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση		69.472	84.359	99.246	114.133	129.020
€		-30%	-15%	0%	15%	30%
8.622	-30%	-1.668	-15.996	-30.324	-44.652	-58.979
10.470	-15%	18.220	3.892	-10.436	-24.764	-39.092
12.318	0%	38.108	23.780	9.452	-4.876	-19.204
14.165	15%	57.996	43.668	29.340	15.012	684
16.013	30%	77.884	63.556	49.228	34.900	20.572
		Αρχικά κόστη				€
Κόστος καυσίμου - προτεινόμενη περίπτωση		69.472	84.359	99.246	114.133	129.020
€		-30%	-15%	0%	15%	30%
1.796	-30%	46.392	32.064	17.736	3.408	-10.920
2.181	-15%	42.250	27.922	13.594	-734	-15.062
2.565	0%	38.108	23.780	9.452	-4.876	-19.204
2.950	15%	33.966	19.638	5.310	-9.018	-23.346
3.335	30%	29.824	15.496	1.168	-13.160	-27.488
		Αρχικά κόστη				€
Επίπλοιο δανεισμού		69.472	84.359	99.246	114.133	129.020
%		-30%	-15%	0%	15%	30%
4,90%	-30%	39.837	25.880	11.922	-2.035	-15.993
5,95%	-15%	38.983	24.842	10.702	-3.439	-17.579
7,00%	0%	38.108	23.780	9.452	-4.876	-19.204
8,05%	15%	37.213	22.693	8.174	-6.346	-20.866
9,10%	30%	36.299	21.583	6.867	-7.848	-22.564

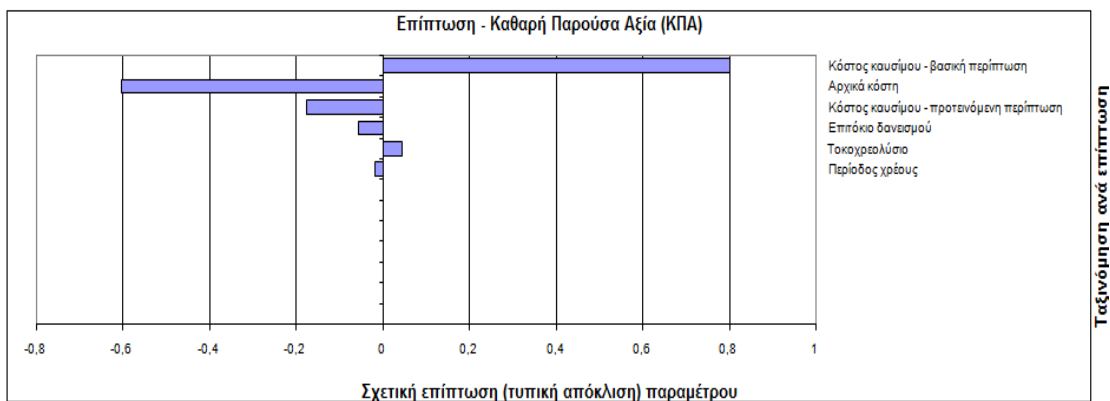
Εικόνα 3.1.5.36: Ανάλυση ευαισθησίας ΚΠΑ ως προς μεταβλητές της επένδυσης για θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής από γεωθερμική αντλία θερμότητας με σύστημα κάθετων γεωεναλλακτών (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνει το κόστος του φυσικού αερίου, τόσο πιο ελκυστική είναι η αντικατάστασή του από το σύστημα αβαθούς γεωθερμίας. Ωστόσο, όσο αυξάνει η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία αποτελεί το βασικό καύσιμο για τη λειτουργία της γεωθερμικής αντλίας, τόσο μειώνεται η καθαρή παρούσα αξία του έργου και μάλιστα αποκτά και αρνητικό πρόσημο, γεγονός που συνεπάγεται μια όχι ελκυστική επιλογή για το χρήστη.

✓ Ανάλυση επικινδυνότητας

Εκτέλεση ανάλυσης σε Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)

Παράμετρος	Μονάδα	Τιμή	Εύρος(+/-)	Ελάχιστο	Μέγιστο
Αρχικά κόστη	€	99.246	10%	89.321	109.171
Κόστος καυσίμου - προτεινόμενη περίπτωση	€	2.565	10%	2.309	2.822
Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση	€	12.318	10%	11.086	13.549
Τοκαχρεολύσιο	%	30%	10%	27%	33%
Επιτόκιο δανεισμού	%	7,00%	10%	6,30%	7,70%
Περίοδος χρέους	έτος	10	10%	9	11



Εικόνα 3.1.5.37: Ανάλυση επικινδυνότητας ΚΠΑ ως προς μεταβλητές της επένδυσης για εύρος αβεβαιότητας 10% για θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής από γεωθερμική αντλία θερμότητας με σύστημα κάθετων γεωεναλλακτών (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Στο διάγραμμα επικινδυνότητας διαφαίνεται ότι τον πρωταγωνιστικό ρόλο διαδραματίζει και πάλι το κόστος του φυσικού αερίου, του καυσίμου του βασικού σεναρίου αναφοράς. Ακολουθεί με σημαντική επιρροή το αρχικό κόστος της επένδυσης, ενώ λιγότερο το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας, του καυσίμου του εναλλακτικού σεναρίου.

• Παροχή ζεστού νερού χρήσης από Γ.Α.Θ.

Ανάλυση Ευαισθησίας και Επικινδυνότητας RETScreen - Έργο παραγωγής θερμότητας

Ανάλυση ευαισθησίας

Εκτέλεση ανάλυσης σε
Εύρος ευαισθησίας
Κατώφλι

Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	
30%	€
0	€

Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση	Αρχικά κόστη					€
	148.107	179.844	211.581	243.318	275.056	
€	-30%	-15%	0%	15%	30%	
18.438	-30%	-29.460	-60.005	-90.551	-121.096	
22.389	-15%	13.068	-17.477	-48.023	-78.569	
26.340	0%	86.142	25.051	-5.495	-36.041	
30.290	15%	128.670	98.124	67.578	37.033	6.487
34.241	30%	171.197	140.652	110.106	79.561	49.015

Κόστος καυσίμου - προτεινόμενη περίπτωση	Αρχικά κόστη					€
	148.107	179.844	211.581	243.318	275.056	
€	-30%	-15%	0%	15%	30%	
3.566	-30%	102.591	72.045	41.500	10.954	-19.591
4.330	-15%	94.366	63.821	33.275	2.730	-27.816
5.094	0%	86.142	55.596	25.051	-5.495	-36.041
5.858	15%	77.917	47.371	16.826	-13.720	-44.265
6.622	30%	69.692	39.147	8.601	-21.944	-52.490

Επιτόκιο δανεισμού	Αρχικά κόστη					€
	148.107	179.844	211.581	243.318	275.056	
%	-30%	-15%	0%	15%	30%	
4,90%	-30%	89.828	60.072	30.316	560	-29.195
5,95%	-15%	88.007	57.861	27.715	-2.431	-32.577
7,00%	0%	86.142	55.596	25.051	-5.495	-36.041
8,05%	15%	84.234	53.279	22.325	-8.630	-39.584
9,10%	30%	82.284	50.912	19.540	-11.832	-43.205

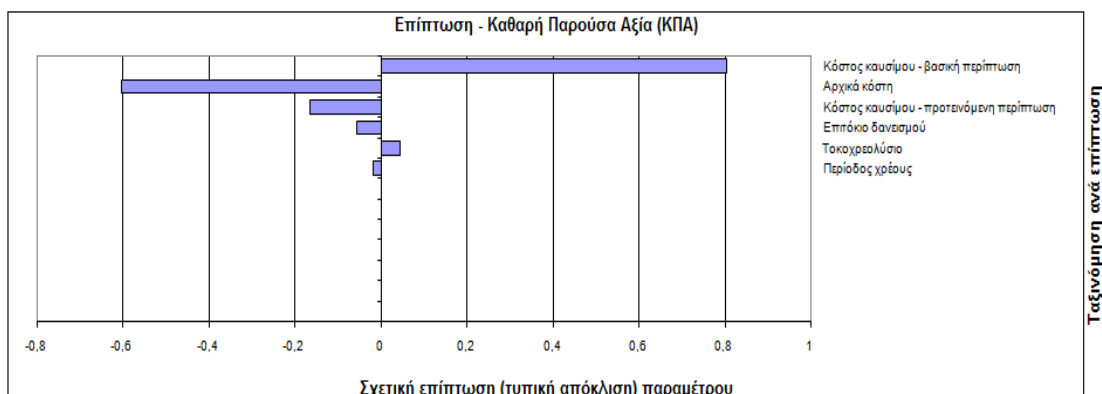
Εικόνα 3.1.5.38: Ανάλυση ευαισθησίας ΚΠΑ ως προς μεταβλητές της επένδυσης για παραγωγή ζεστού νερού από γεωθερμική αντλία θερμότητας με σύστημα κάθετων γεωεναλλακτών (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Ανάλυση επικινδυνότητας

Εκτέλεση ανάλυσης σε

Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)

Παράμετρος	Μονάδα	Τιμή	Εύρος(+/-)	Ελάχιστο	Μέγιστο
Αρχικά κόστη	€	211.581	10%	190.423	232.739
Κόστος καυσίμου - προτεινόμενη περίπτωση	€	5.094	10%	4.585	5.603
Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση	€	26.340	10%	23.706	28.974
Τοκοχρεολύσιο	%	30%	10%	27%	33%
Επιτόκιο δανεισμού	%	7,00%	10%	6,30%	7,70%
Περίοδος χρέους	έτος	10	10%	9	11



Εικόνα 3.1.5.39: Ανάλυση επικινδυνότητας ΚΠΑ ως προς μεταβλητές της επένδυσης για εύρος αβεβαιότητας 10% για παραγωγή ζεστού νερού από γεωθερμική αντλία θερμότητας με σύστημα κάθετων γεωεναλλακτών (εξαγωγή από λογισμικό RETScreen® International)

Σε ό,τι αφορά το ζεστό νερό, το κόστος του φυσικού αερίου διαδραματίζει πρωτεύοντα ρόλο στη λήψη της απόφασης. Παρατηρείται επίσης ότι το εγχείρημα παραμένει ιδιαίτερα ευαίσθητο σε μια αύξηση του αρχικού κόστους από 0 έως 30%.

Στο σημείο αυτό ακολουθεί ο συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων, όπως αυτά προκύπτουν μέσα από την ανάλυση μέσω του λογισμικού RETScreen® International:

Πίνακας 3.1.5.1: Σύνοψη αποτελεσμάτων μέσω της ανάλυσης με το λογισμικό RETScreen® International

	Σύστημα ηλιακών συλλεκτών	Γεωθερμική αντλία με σύστημα κατακόρυφων γεωεναλλακτών
Θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής		
Χρόνος απόσβεσης έναντι κόστους θέρμανσης	5,7 έτη	9,6 έτη
ΚΠΑ (για n=20έτη)	38.590 €	9.452 €
Ηλιακή κάλυψη (Βέλτιστη)	81%	100%
Απόδοση συστήματος	21,5%	COP=2,8
Δυνατότητα κάλυψης και μέρους ψυκτικών φορτίων κτιρίου	όχι	ναι
Ετήσια μη εκπομπή ΑΤΘ (t CO ₂ /έτος)	19,7 t CO ₂ /έτος	11,8 t CO ₂ /έτος
Παροχή ζεστού νερού χρήσης		
Χρόνος απόσβεσης έναντι κόστους θέρμανσης	3,0 έτη	9,4 έτη
ΚΠΑ (για n=20έτη)	102.592 €	25.051 €
Ηλιακή κάλυψη (Βέλτιστη)	60%	100%
Απόδοση συστήματος	38%	COP=2,8
Δυνατότητα κάλυψης και μέρους ψυκτικών φορτίων κτιρίου	όχι	ναι
Ετήσια μη εκπομπή ΑΤΘ (t CO ₂ /έτος)	31,1 t CO ₂ /έτος	26,7 t CO ₂ /έτος

4. Σχολιασμοί και συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, εξετάστηκαν δύο εναλλακτικά σενάρια εφαρμογής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ως προτεινόμενα εναλλακτικά σενάρια ΑΠΕ επιλέχθηκαν:

1. ένα σύστημα ηλιακών συλλεκτών υαλοκάλυπτου τύπου
 2. ένα σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με κατακόρυφους γεωεναλλάκτες
- Ως βασικό σενάριο αναφοράς εξετάστηκε και για τις ανωτέρω δύο περιπτώσεις, η χρήση λέβητα φυσικού αερίου. Τα πεδία εφαρμογής των παραπάνω σεναρίων που μελετήθηκαν ήταν τα ακόλουθα:

A. θέρμανση εσωτερικής κολυμβητικής δεξαμενής, επιφάνειας 150m^2 , για θερμοκρασία νερού στους 29°C

B. παροχή ζεστού νερού χρήσης στους 60°C για ξενοδοχειακή μονάδα δυναμικότητας 120 κλινών.

Το υπολογιστικό εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε είναι το λογισμικό RETScreen® International (www.retscreen.com).

Οι επιλεγείσες εφαρμογές πραγματοποιήθηκαν για την περιοχή της Λάρισας.

Παραδοχές

Για την εκπόνηση των οικονομικών αναλύσεων έγιναν οι ακόλουθες παραδοχές:

- Κόστος φυσικού αερίου: $0,9\text{ €/m}^3$
- Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας: $0,09\text{ €/kWh}$
- Χρήση καλύμματος της κολυμβητικής δεξαμενής για τις ώρες που δε θα χρησιμοποιείται.
- Χρήση κατακόρυφων γεωεναλλακτών τύπου U, Φ32
- Διάρκεια ζωής της επένδυσης: 20 έτη
- Πληθωρισμός: 2,5%
- Επιτόκιο αναγωγής για τον υπολογισμό της ΚΠΑ: 10%
- Κυλιόμενος φόρος καυσίμου σεναρίου αναφοράς (φυσικού αερίου): 3%
- Θεωρούμε επίσης ότι ο επενδυτής διαθέτει το 70% του απαιτούμενου αρχικού κεφαλαίου και «μοχλεύει» την επένδυση, δανειζόμενος το υπόλοιπο 30% με ένα επιτόκιο δανεισμού 7% με δέσμευση αποπληρωμής για τα 10έτη.

Για την εκπόνηση των περιβαλλοντικών αποτιμήσεων από τη μη κατανάλωση συμβατικού καυσίμου επιλέχθηκε:

- Συντελεστής εκπομπής αερίων ρύπων (ανηγμένη τιμή σε CO₂) για το φυσικό αέριο: 0,474t CO₂ / MWh καταναλούμενου φυσικού αερίου

Το υπολογιστικό λογισμικό Retscreen αποτελεί ένα ιδιαίτερα εύχρηστο εργαλείο, καθώς διεξάγεται σε περιβάλλον Excel, το οποίο αναπτύχθηκε στο πλαίσιο ερευνητικών προγραμμάτων στον Καναδά. Η χρήση του ωστόσο, ενδείκνυται για ποικίλες ενεργειακές αναλύσεις οικονομοτεχνικού τύπου σε επίπεδο προμελέτης. Καθώς αποτελεί ένα εργαλείο κλειστού τύπου, δεν επιτρέπει παρέμβαση στον κώδικα από τον ίδιο το χρήστη.

Παρατηρούμενες αδυναμίες

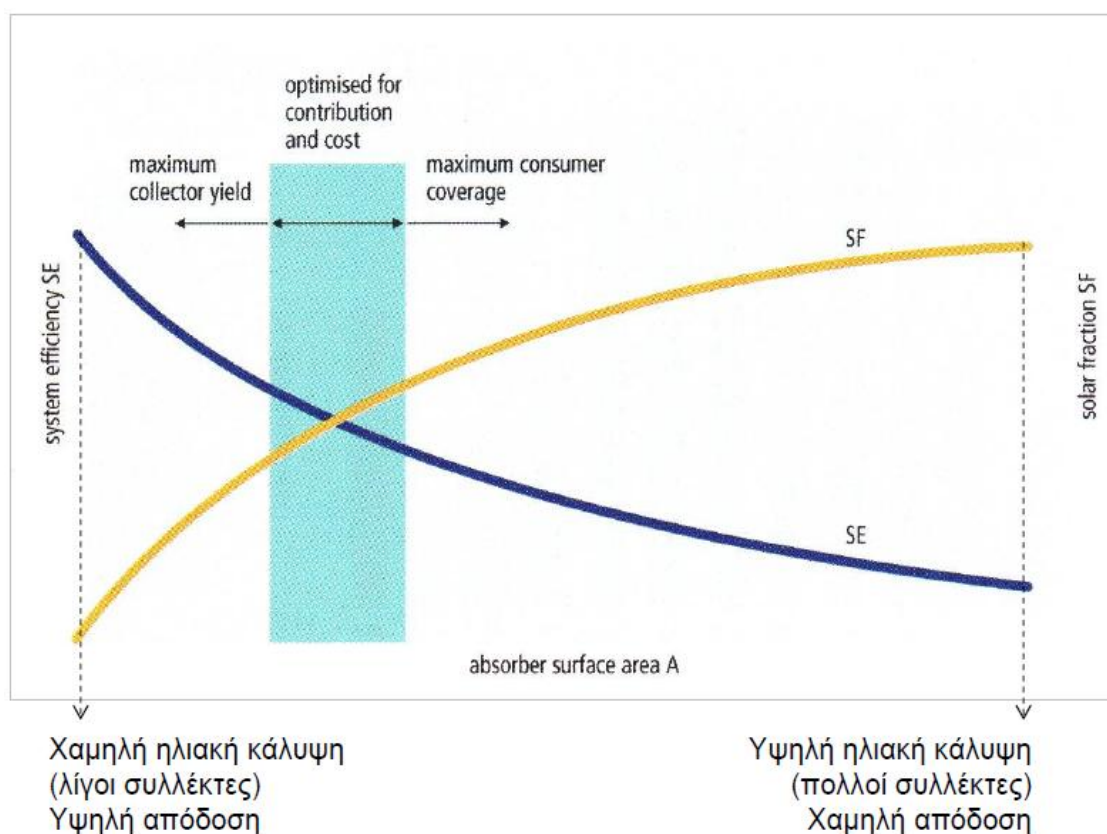
Ορισμένες εγγενείς αδυναμίες υπογραμμίζονται και υπερσκελίστηκαν ως ακολούθως:

- Η βάση κλιματολογικών δεδομένων του Καναδά για τον ελλαδικό χώρο θα πρέπει να είναι επικαιροποιημένη με βάση τα εγχώρια στοιχεία. Στην παρούσα θέση ορισμένες διορθώσεις πραγματοποιήθηκαν με βάση τα στοιχεία της ΕΜΥ.
- Για τη θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής από ηλιακούς συλλέκτες, θεωρήθηκε σταθερό και ενιαίο βάθος 1,5m, ενώ η επιφάνεια δύναται να είναι μεταβλητή.
- Στο ενεργειακό μοντέλο των ηλιακών συλλεκτών, δεν πραγματοποιείται από το λογισμικό μηνιαία κατανομή της απόδοσης των συλλεκτών. Κατά τους θερινούς μήνες, οπότε τα ηλιακά κέρδη είναι αυξημένα, θα ήταν χρήσιμη μια επιπλέον πληροφορία της απόδοσης των συλλεκτών για ορθολογικό διακανονισμό της χρήσης της παραγόμενης θερμότητας.
- Στο μοντέλο γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, η εφαρμογή δεν έχει ακόμη προετοιμαστεί ώστε να υλοποιεί μελέτη για ζεστό νερό ή θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής. Συνεπώς, δημιουργήθηκε ανάλογο προσομοίωμα θερμαινόμενου χώρου, με απαίτηση θέρμανσης ίση με τις ενεργειακές απαιτήσεις της κολυμβητικής δεξαμενής και της κάλυψης των αναγκών σε ζεστό νερό.

Περιορισμοί

Για τη συγκεκριμένη περίπτωση τόσο θέρμανσης κολυμβητικής δεξαμενής, όσο και παροχής ζεστού νερού, σε ό,τι αφορά την εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών, υπήρξε ένας περιορισμός ως προς την έκτασή τους, τόσο για λόγους απόδοσης, όσο και για λόγους χωρητικότητας και τοποθέτησης.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι επιλέχθηκε ηλιακή κάλυψη σε ποσοστό 81% από ηλιακά, ενώ το υπόλοιπο θα καλύπτεται από συμβατικό σύστημα λέβητα φυσικού αερίου. Αντίστοιχα για το σενάριο του ζεστού νερού, η ηλιακή κάλυψη ανέρχεται στο 60%. Η επιλογή αυτή αποτελεί απόρροια συνεκτίμησης τόσο της απόδοσης του συστήματος, όσο και του συνεπαγόμενου οικονομικού κόστους και χρόνου απόδοσης. Ενδεικτικά παραπέμπουμε στο ακόλουθο διάγραμμα:



Εικόνα 4.1: Διάγραμμα συσχέτισης ηλιακής κάλυψης σε σχέση με την απόδοση συστήματος ηλιακών συλλεκτών
(http://library.tee.gr/digital/m2385/m2385_christodoulaki.pdf)

Παρατηρούμε επομένως ότι όσο μεγαλύτερος ο λόγος της ηλιακής κάλυψης, τόσο λιγότερο αποδοτικό προκύπτει το σύστημά μας, γεγονός το οποίο καταδεικνύει και το ακόλουθο διάγραμμα σχέσης ηλιακής κάλυψης – απόδοσης συστήματος ηλιακών συλλεκτών. Το συγκεκριμένο διάγραμμα αποτελεί έναν γενικευμένο κανόνα, ανεξάρτητα από τον τελικό αποδέκτη της θερμότητας που παράγεται μέσω ηλιακών συστημάτων (ζεστό νερό, κολυμβητική δεξαμενή, κ.τ.λ.).

Από το παραπάνω διάγραμμα διαφαίνεται ότι η απόδοση ενός συστήματος ηλιακών συλλεκτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ηλιακή κάλυψη που επιθυμούμε να επιτύχουμε. Όταν η ηλιακή κάλυψη είναι αυξημένη, μειώνεται η απόδοση του συστήματος. Υψηλή ηλιακή κάλυψη συνεπάγεται υψηλότερες θερμοκρασίες επιστροφής στον ηλιακό συλλέκτη, συνεπώς λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία να δύναται να απορροφηθεί από το συλλέκτη και επομένως μικρότερη απόδοση του συστήματος.

Επιτευχθείσα απόδοση και έτη απόσβεσης για τις εξεταζόμενες μελέτες περιπτώσεων:

- Για την περίπτωση του ZNX έχουμε: για κάλυψη του 60% των θερμικών αναγκών από τους ηλιακούς συλλέκτες, παραγωγή 114,3MWh συνολικά.. Διαιρώντας με τη συνολική επιφάνεια των ηλιακών έχουμε $114,3 \text{ MWh} / 141,85\text{m}^2 = 0,805\text{MWh} / \text{m}^2$.

Συνεπώς η αποδοτικότητα του συστήματος προκύπτει διαιρώντας την ωφέλιμη ενέργεια προς τη συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη:

$$0,81 \text{ MWh} / \text{m}^2 / 2,11 \text{ MWh} / \text{m}^2 = 0,38 \text{ ή } 38\% .$$

- Για την περίπτωση της κολυμβητικής δεξαμενής, με όμοιο τρόπο προκύπτει για την κάλυψη του 81% των θερμικών αναγκών μια απαίτηση για ηλιακά συνολικής επιφανείας $151,98 \text{ m}^2$, με αντίστοιχη απόδοση $68,90 \text{ MWh}$ ωφέλιμης θερμότητας. Διαιρώντας με τη συνολική επιφάνεια των ηλιακών έχουμε $68,90 \text{ MWh} / 151,98\text{m}^2 = 0,45\text{MWh} / \text{m}^2$

Συνεπώς η απόδοση του συστήματος στην περίπτωση αυτή προκύπτει ως:

$$0,45 \text{ MWh} / \text{m}^2 / 2,11 \text{ MWh} / \text{m}^2 = 0,215 \text{ ή } 21,5\%$$

Ωστόσο, η θέρμανση πισίνας κατά Ψαρρά Ν. (2012), είναι μια λειτουργία που μπορεί να πραγματοποιηθεί με επιτυχία χάρη στην αβαθή γεωθερμία. Στην περίπτωση αυτή, δύναται να συνδυαστεί με ταυτόχρονη ψύξη χώρων του ξενοδοχείου, τόσο για

μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας, όσο και για την αποφυγή της θερμικής ταπεινώσης του εδάφους από συνεχή άντληση θερμότητας. Με το σύστημα αντλιών νερού - νερού σε ένα κλειστό κύκλωμα ανακυκλοφορίας (εξ' αιτίας της παρουσίας του χλωρίου της πισίνας), είναι εφικτή η ταυτόχρονη διοχέτευση ψυχρού νερού σε κεντρική κλιματιστική μονάδα. Συνεπώς, αν και πρωταρχικό ρόλο στο σχεδιασμό διαδραματίζει η θέρμανση της πισίνας, υπεισέρχεται και μία επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων από την παροχή ψύξης, γεγονός το οποίο θα μπορούσε να αποτελέσει ένα ξεχωριστό αντικείμενο προς μελέτη.

Στην παρούσα θέση προέκυψαν μέσω του λογισμικού Retscreen θα απαιτηθούν για τη θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής 6 κατακόρυφες γεωτρήσεις, βάθους 90m τύπου U, Φ32.

Αντίθετα για τις θερμικές απαιτήσεις του ZNX από γεωθερμικές αντλίες το σενάριο κρίνεται ως μη αποδοτικό σε σχέση με την εγκατάσταση ηλιακών θερμικών συλλεκτών, δεδομένου ότι το δεύτερο αποσβέννυται σε περίπου 3,5 έτη.

Περιβαλλοντική αποτίμηση μη εκπομπής αερίων ρύπων

Με αφορμή ωστόσο την ολοένα αυξανόμενη άνοδο στις τιμές των συμβατικών καυσίμων (πετρέλαιο, φυσικό αέριο), αποτελεί μία σαφώς ανακουφιστική λύση η αντικατάσταση ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης από εναλλακτικό ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, παρέχοντας και τα επιπλέον οφέλη της φιλικής προς το περιβάλλον συμπεριφοράς με ετήσια εξοικονόμηση εκπεμπόμενων ρύπων.

Η εφαρμογή Retscreen έχει αναγάγει όλους του εκπεμπόμενους ρύπους σε όρους CO₂.

Από την εφαρμογή των ηλιακών για την παρούσα θέση προέκυψαν:

- Από τη θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής κατά 81% από ηλιακά: 19,7 tCO₂/έτος, το οποίο ισοδυναμεί με 4,5 στρέμματα δάσους που απορροφούν άνθρακα.
- Από την παροχή ζεστού νερού χρήσης κατά 60% από ηλιακά: 31,1 tCO₂/έτος, το οποίο ισοδυναμεί με 7,1 στρέμματα δάσους που απορροφούν άνθρακα.

Για την εφαρμογή συστήματος κάθετων γεωεναλλακτών προέκυψαν αντίστοιχα:

- Από τη θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής κατά εξ' ολοκλήρου από σύστημα κατακόρυφων γεωεναλλακτών: 11,8 tCO₂/έτος, το οποίο ισοδυναμεί με 2,7 στρέμματα δάσους που απορροφούν άνθρακα.

- Από την παροχή ζεστού νερού χρήσης εξ' ολοκλήρου από σύστημα κατακόρυφων γεωεναλλακτών: 26,7 tCO₂/ έτος, το οποίο ισοδυναμεί με 6,1 στρέμματα δάσους που απορροφούν άνθρακα.

Η μικρότερη εξοικονόμηση εκπεμπόμενων ρύπων στο γεωθερμικό σύστημα οφείλεται κατά κύριο λόγο στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τη λειτουργία της γεωθερμικής αντλίας. Παρόλα αυτά, αποτελεί σαφώς μία φιλικότερη λύση προς το περιβάλλον έναντι συστημάτων κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων.

Υπενθυμίζεται ότι για τα ελληνικά δεδομένα, ελήφθη συντελεστής εκπομπής 0,474 tCO₂/ MWh φυσικού αερίου που καταναλώνεται, ενώ ελήφθη από τη βιβλιογραφία συντελεστής απωλειών λόγω μεταφοράς και διάχυσης 6%.

Οικονομική βιωσιμότητα

Σε ό,τι αφορά την οικονομική βιωσιμότητα των εξεταζόμενων σεναρίων, επιλέχθηκε η μέθοδος της καθαρής παρούσας αξίας για την εκπόνηση ανάλυσης ευαισθησίας και ανάλυσης επικινδυνότητας κατά Monte Carlo, μέσω της εφαρμογής Retscreen.

Για την ανάλυση ευαισθησίας επιλέχθηκε ένα εύρος μεταβολής των διαφόρων τιμών κατά ±30% και ως κατώφλι θεωρήθηκε η τιμή 0, καθώς για να είναι αποδοτικό το εγχείρημα, απαιτεί θετικό πρόσημο καθαρής παρούσας αξίας. Για την ανάλυση επικινδυνότητας, βάσει της οποίας κρίνεται ποιες παράμετροι διαδραματίζουν μεγαλύτερη συμμετοχή στην επένδυση και πώς την επηρεάζουν, το εύρος αβεβαιότητας επιλέχθηκε ±10%.

Το σενάριο της εγκατάστασης των ηλιακών συστημάτων είναι τόσο αποδοτικό για τη συγκεκριμένη χρήση, ώστε εμφανίζει αρνητική καθαρή παρούσα αξία μόνο στην περίπτωση που επέλθει μια μείωση του κόστους του φυσικού αερίου στη βασική περίπτωση, γεγονός που καθιστά την επένδυση ιδιαίτερα ελκυστική για το χρήστη.

Για τη χρήση αβαθούς γεωθερμίας παρατηρούμε ότι όσο αυξάνει το κόστος του φυσικού αερίου, τόσο πιο ελκυστική είναι η αντικατάστασή του συμβατικού συστήματος από γεωθερμική αντλία. Ωστόσο, όσο αυξάνει η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία αποτελεί το βασικό καύσιμο για τη λειτουργία της γεωθερμικής αντλίας, τόσο μειώνεται η καθαρή παρούσα αξία του έργου και μάλιστα αποκτά και αρνητικό πρόσημο, γεγονός που συνεπάγεται μια όχι ελκυστική επιλογή για το χρήστη. Στην ανάλυση επικινδυνότητας, η πλέον «επικίνδυνη» μεταβλητή είναι το

κόστος του φυσικού αερίου (βασική περίπτωση), με το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας να ακολουθεί.

Από τα παραπάνω, διαφαίνεται ότι για τις συγκεκριμένες δύο εφαρμογές, αυτής της θέρμανσης της κολυμβητικής δεξαμενής, αλλά και της παροχής ζεστού νερού χρήσης, τα ηλιακά θερμικά συστήματα αποσβέννυνται ταχύτερα σε σχέση με το σύστημα γεωθερμικής αντλίας και εμφανίζουν καλύτερο δείκτη οικονομικής βιωσιμότητας ΚΠΑ. Ωστόσο, είναι πρακτικά αδύνατο να επιτύχουμε ολοκληρωτική κάλυψη 100% από ηλιακά, δεδομένης της πτώσης της απόδοσης του συστήματος, γεγονός που καθιστά την πρακτική αυτή αντι – οικονομική. Συνεπώς προτείνεται η συμπλήρωση από συμβατικό σύστημα λέβητα φυσικού αερίου. Τα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη, στην περίπτωση αυτή, όπως αποτιμήθηκαν μέσω της χρήσης του λογισμικού είναι σημαντικά.

Για την περίπτωση της αβαθούς γεωθερμίας, η απόσβεση φαίνεται να επέρχεται αργότερα, με χαμηλότερη ΚΠΑ. Ωστόσο, είναι δυνατή η εξ' ολοκλήρου κάλυψη των θερμικών φορτίων, με ταυτόχρονη εκμετάλλευση του μέρους της παρεχόμενης ενέργειας του συστήματος προς ψυκτικό όφελος.

Η τελική επιλογή έγκειται στους στόχους και τις ανάγκες του χρήστη, για αυτό και συνίσταται προσεκτική μελέτη και επιτόπου επίσκεψη, προκειμένου να συνεκτιμηθούν όλοι οι παράγοντες που υπεισέρχονται.

Βιβλιογραφία

Ahrens, C. (2009). *Meteorology Today: An introduction to weather, climate and environment*. USA. Brooks/ Cole Cengage Learning.

Bonair - Ενεργειακές μελέτες και έργα. Ανάκτηση από: http://www.bonair.gr/data/11_27.pdf

Buderus Solar. (2007). *Τεχνολογία ηλιακών συστημάτων για την παρασκευή ζεστού νερού χρήσης και την υποστηρίξη θέρμανσης - Τεχνικό εγχειρίδιο*. Ανάκτηση από: http://www.buderus.gr/files/201106011342050.Buderus_Solar.pdf

CIBSE. (2006). *Energy assessment and reporting method*. London. CIBSE Publications.

Department of the Environment, Transport and Regions. (1997). *Energy efficiency in swimming pools*. Crown.

Karagiorgas, M., Tsoutsos, T., Drossou, V., Pouffary, S., Pagano, T., Lara, G., et al. (2006). HOTRES: Renewable energies in the hotels- An extensive technical tool for the hotel industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier*, σσ. Vol. 21, pp 266-279.

NREL. (2000). *National Renewable Energy Laboratory*. Ανάκτηση από: <http://www.nrel.gov/docs/fy00osti/28038.pdf>

Olgay, V. (1963). *Designing with climate*. Princeton. University Press

RODAX - Α. ΦΡΟΥΔΑΚΗΣ. *Τουριστική μονάδα στην Αταλάντη Φθιώτιδας - Ενεργειακές ανάγκες ξενοδοχείων - Παράρτημα Α*.

SOLPOOL project consortium. (2008). Χρήση θερμικών ηλιακών συστημάτων για θέρμανση νερού κολυμβητικών δεξαμενών - Εγχειρίδιο για ιδιοκτήτες και διαχειριστές. http://www.solpool.info/uploads/media/SOLPOOL_WP3_Brochure_for_operators_gr.pdf

SOLPOOL. (2009). *Εθνική Έκθεση - Ζήτηση και διαθέσιμο δυναμικό για θέρμανση εξωτερικών κολυμβητικών δεξαμενών με χρήση ΘΗΣ*. Ελλάδα.

ΔΙΠΕ. (2009). *Οικολογική Δόμηση*. Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα.

Εταιρεία Παροχής Αερίου Θεσσαλονίκης. (2012). Ανάκτηση από: <http://www.epathessaloniki.gr/index.php?cid=80&mn=29>

Ευθυμιάδης, Α., Βιρβίλη, Ε., Γαλάνης, Ν., & Μαλτέζος, Γ. (2010). Μελέτη θέρμανσης κολυμβητηρίου με κεντρικό ηλιακό σύστημα στο ΕΕΕΕΚ Σερρών. *Εcoδομείν*, τ.01, σσ. 104-112.

ΚΑΠΕ. (2000). *Θερμικά Ηλιακά Συστήματα: Περιγραφή - Εφαρμογές - Οδηγίες Συντήρησης*. ΚΑΠΕ.

Καράγιωργας, Μ., Μπότζιος, Α., & Παλαμάρα, Α. (n.d.). Ανάκτηση από: http://www.bonair.gr/data/33_26.pdf

Μπραουδάκη, Κ. (2007). *Μελέτη αξιοποίησης συστήματος γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σε κτίριο του πολυτεχνείου Κρήτης*. Χανιά.

Περδίδης, Σ. (2009). *Ηλιοθερμικές Εγκαταστάσεις*. Αθήνα. Τεκδοτική.

Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20702-5/2010.

Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010.

Φ.Ε.Κ. 407/9.4.2010.

Φραγκιαδάκης, Ι. (2009). *Φωτοβολταϊκά συστήματα*. Εκδόσεις Ζήτη.

Φωτοβολταϊκά- Χρήσιμα. (2011). *Πράσινο Σπίτι και Κτίριο* , σσ. τ.03, 50.

Ψαρράς, Ν. (2012). *Γεωθερμία και κλιματισμός - θεωρία και πρακτικοί κανόνες*. Αθήνα: Shape Τεχνικές Εκδόσεις Ε.Π.Ε.

Ψαρράς, Ν. (2008, Φεβρουάριος). Γεωθερμικό συγκρότημα στο Καβούρι. *Ecotec* , τ.31,σσ. 42-43.

Ψαρράς, Ν. (2011, Ιανουάριος - Φεβρουάριος). Γεωσυλλέκτης: Υπέρ και κατά. *Econ*,τ.13 , σσ. 92-95.

Ψαρράς, Ν. (2008, Ιούλιος- Αυγούστος). Κλειστό κωνικό γεωθερμικό σύστημα στην αγκαλιά του Παρνασσού. *Τα νέα των κατασκευαστών κτιρίων* , τ.56,σσ. 60-65.

Ψαρράς, Ν. (2007, Ιούλιος - Σεπτέμβριος). Μονοκατοικίες με γεωθερμικό κλιματισμό. *Building Green* , τ.04, σσ. 38-40.

Ψαρράς, Ν. (2010, Ιούλιος- Σεπτέμβριος). Παράγοντες εξοικονόμησης ενέργειας κατά την εφαρμογή γεωθερμικών συστημάτων. *Econ*, τ.11 , σσ. 116-118.

http://www.bonair.gr/data/11_27.pdf

<http://mgavrieltatos.gr>

<http://www.phaethon-energy.gr>

www.retscreen.com

