

Revista Română de Inginerie Civilă

Indexată în bazele de date internaționale (BDI)
ProQuest, INSPEC, EBSCO
INDEX COPERNICUS, ULRICH'S și JOURNALSEEK

Volumul 4 (2013), Numărul 3
ISSN 2068-3987

The use of geothermal energy for buildings refurbishment in Europe - technologies, success stories and perspectives <i>Burkhard Sanner, Phillippe Dumas, Robert Gavriluc, Răzvan Zeghici</i>	183-198
Analiza eficienței utilizării recuperatoarelor de căldură cu plăci în clădiri civile <i>Vera Guțul G., Serghei Putiveț, Vera Guțul</i>	199-204
Recuperator de căldură cu tuburi termice pentru valorificarea energiei reziduale în clădiri <i>Andrei Burlacu, Marius Costel Balan, Vasilică Ciocan, Marina Verdeș</i>	205-212
Analiza energetică și funcțională pentru situația folosirii peștelor din deșeurile de materii celulozice la cazane <i>Nicolae Antonescu, Dan-Paul Stănescu</i>	213-220
Analiza unor aspecte noi privind concepția și dimensionarea instalațiilor de preparare apă caldă de consum <i>Mihnea Sandu, Nicolae N. Antonescu, Daniela Teodorescu</i>	221-226
Aspecte specifice în cazul analizei higrotermice a fațadelor la clădirile din panouri mari <i>Mihaela Stela Georgescu, Irina Bliuc, Viorica Demir</i>	227-249
Experimental Assessment of the Indoor Environmental Quality in an educational facility <i>Tiberiu Catalina, Vlad Iordache, Andrei Ene</i>	250-257
Analiza performanțelor energetice ale clădirilor din Republica Moldova, un deziderat important în contextul actual al reducerii consumurilor de resurse energetice și a impactului asupra mediului înconjurător <i>Constantin Țuleanu, Andrei Bînzari, Elena Nicolaev</i>	258-263
Heat and mass transfer modeling in desiccant wheel dehumidifiers <i>Razvan Popescu, Lelia Popescu</i>	264-274
Studiu comparativ privind asigurarea energiei electrice din surse neconvenționale de energie pentru o clădire rezidențială <i>Marius-Costel Balan, Marina Verdeș, Vasilică Ciocan, Alexandru Verdeș</i>	275-280
Analiza decizională pentru evaluarea gradului de satisfacere a confortului termic în clădirile de locuit <i>Gabriel Teodoriu, Ion Șerbănoiu</i>	281-287
Thermal comfort analysis in a passive house using dynamic simulations <i>Tiberiu Catalina</i>	288-296
Piața certificatelor verzi și investițiile în surse de energie regenerabile <i>Pavel Atănăsoae</i>	297-304
Rezultate ale auditului energetic la un hotel montan modernizat <i>Dan Berbecaru, Raluca Căzănescu, Irina Grigore, Ramona Axim</i>	305-316
Viitorul clădirilor verzi din perspectiva interconectării științelor <i>Adrian Moleavin</i>	317-326
Studiu privind cerințele unui sistem de managementul calității în domeniul construcțiilor <i>Lidia Niculiță, Matache Georgiana</i>	327-339

COLEGIUL EDITORIAL

Prof.dr.ing. Ioan BOIAN, *Universitatea Transilvania Braşov*
Prof.dr.ing. Alexandru CĂTĂRIG, *Universitatea Tehnică Cluj Napoca*
Conf.dr.ing. Victoria COTOROBAL, *Universitatea Tehnică Gh. Asachi Iaşi*
Prof. dr. mat. Rodica DĂNEŢ, *Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti*
Prof.dr.ing. Carlos Infante FERREIRA, *Delft University of Technology, The Netherlands*
Prof.dr.ing. Dragoş HERA, *Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti – redactor şef*
Prof.dr.ing. Ovidiu IANCULESCU, *director editorial*
Prof.dr.ing. Gheorghe Constantin IONESCU, *Universitatea Oradea*
Prof.dr.ing. Florin IORDACHE, *Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti*
Prof.dr.ing. Carmen Elena MAFTEI, *Universitatea Ovidius Constanţa*
Prof.dr.ing. Ion MIREL, *Universitatea Politehnica Timişoara*
Conf.dr.ing. Dan GEORGESCU, *Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti*
Prof.dr.ing. Mircea PETRINA, *Universitatea Tehnică Cluj Napoca*
Conf.dr.ing. Dorel PLĂTICĂ, *Universitatea Tehnică Gh. Asachi Iaşi*
Prof.dr.ing. Nicolae POSTĂVARU, *Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti-redactor şef*
Prof.dr.ing. Daniela PREDA, *Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti*
Prof.dr.ing. Ioan SÎRBU, *Universitatea Politehnica Timişoara*
Prof.dr.ing. Ioan TUNS, *Universitatea Transilvania Braşov*

ISSN 2068-3987

MATRIX ROM
OP CHIAJNA CP 2
077040 – ILFOV
Tel. 021 4113617 Fax. 021 4114280
e-mail: office@matrixrom.ro
www.matrixrom.ro

The use of geothermal energy for buildings refurbishment in Europe - technologies, success stories and perspectives*

Authors: Burkhard Sanner^[1], Phillippe Dumas^[1], Robert Gavriluc^[2], Răzvan Zeghici^[2]

^[1] European Geothermal Energy Council, Brussels, Belgium

e-mail: b.sanner@egec.org, p.dumas@egec.org

^[2] Romanian Geoexchange Society, Bucharest, Romania

e-mail: robertgavriliuc@geoexchange.ro, razvan.zeghici@geoexchange.ro

Abstract: *The paper presents a large overview on the different technologies available for the use of the geothermal energy, as well as their combination with classical technologies (CHP) in view of reaching the best possible primary energy efficiency for refurbished buildings. The case studies within the paper provide information on technical and economic aspects. The paper also highlights several important administration and financial issues that must be dealt with in order to facilitate a wider spread of the geothermal energy use.*

Key-words: geothermal energy, heat pumps, seasonal performance factor, buildings refurbishment, energy performance certificate.

1. Introduction

Currently, Geothermal energy sources provide more than 15 GW_{th} for heating and cooling in the European Union, equivalent to more than 4 Mtoe per year, whereby geothermal Heat Pump systems contribute to the largest part. The potential is huge. The geothermal resources can be used virtually anywhere for residential and tertiary sectors, but also in the industry providing high temperature heat (200-250°C).

Following the current trends, within EU-27, the 2020 contribution will amount to around 40 GW_{th} installed capacity, corresponding to about 10 Mtoe.

The technological challenges are to develop innovative solutions for refurbishing the existing buildings, using system which are easier to install and more efficient at low temperatures.

The quantitative development of the European geothermal market in the next ten years is expected to be fuelled mainly through the introduction and consolidation of the shallow geothermal systems, with a quite mature market in Sweden and Switzerland and developing markets in Austria, Germany and France (Figure 1).

* Lucrare inclusă în programul conferinței "Romanian Conference on Energy Performance of Buildings (RCEPB 2013)"

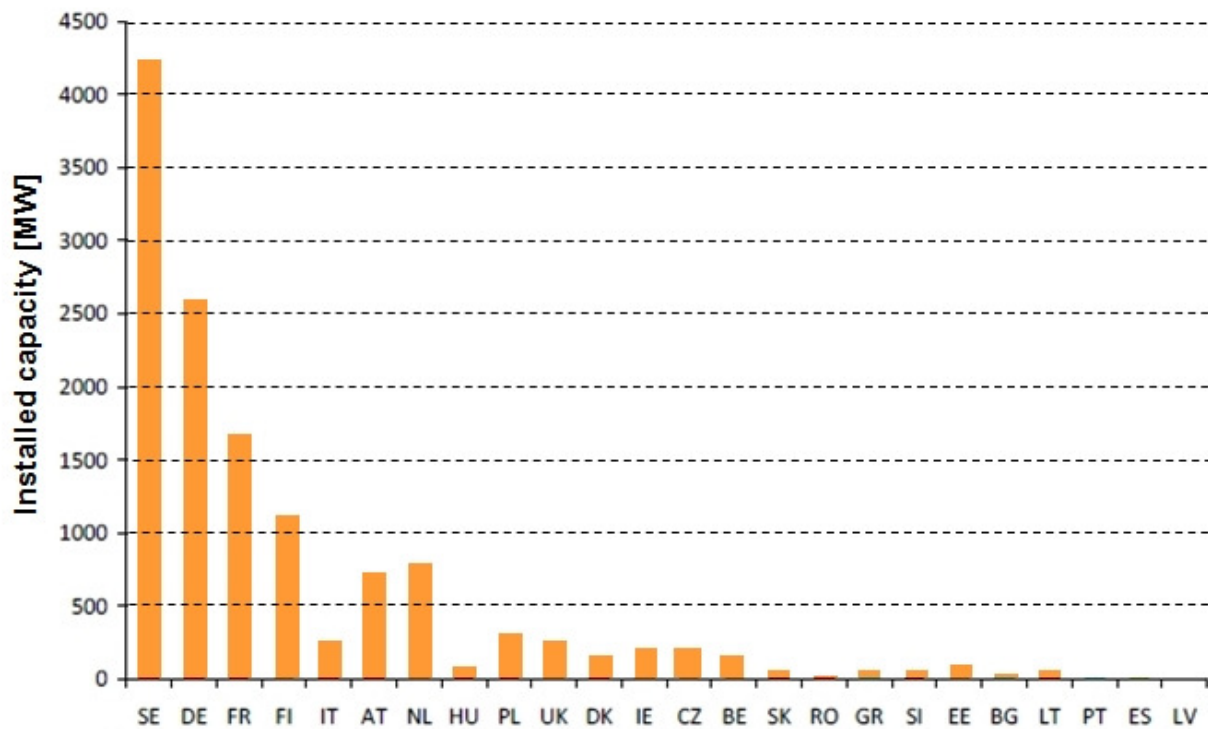


Figure 1 - Shallow geothermal heating capacity in Europe [1]

In other emerging European markets, a high growth is possible and it is expected over the next years (Italy, France, Spain, UK, Hungary, and Romania). Mature market countries (namely Sweden and Germany) will experience a steady increase, mainly stimulated by sales in the renovation segment, but all the other countries will experience a significant growth too.

The fast development for geothermal heat pumps illustrates how shallow geothermal energy resources, previously often neglected (before 2006), have become very significant, and should be taken into account in any energy development scenario until 2050 (Figure 2).

The use of geothermal energy for buildings refurbishment in Europe - technologies, success stories and perspectives

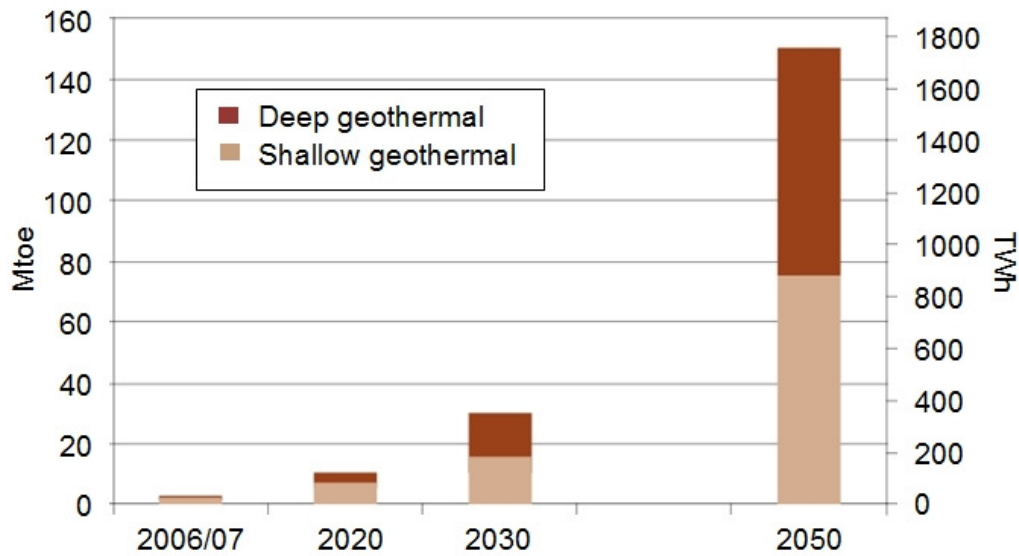


Figure 2 - Heating potential of geothermal energy in Europe [2]

The deep geothermal market is also increasing in Europe, summarising presently 216 systems of 4,900 MW_{th} capacity. Used mainly in district heating applications, it replaces successfully the old and inefficient equipment which runs on fossil fuels. Iceland has the most developed market among the European countries due to favourable hydro-geological conditions; with more than 2000 MW_{th} installed capacity (Figure 3).

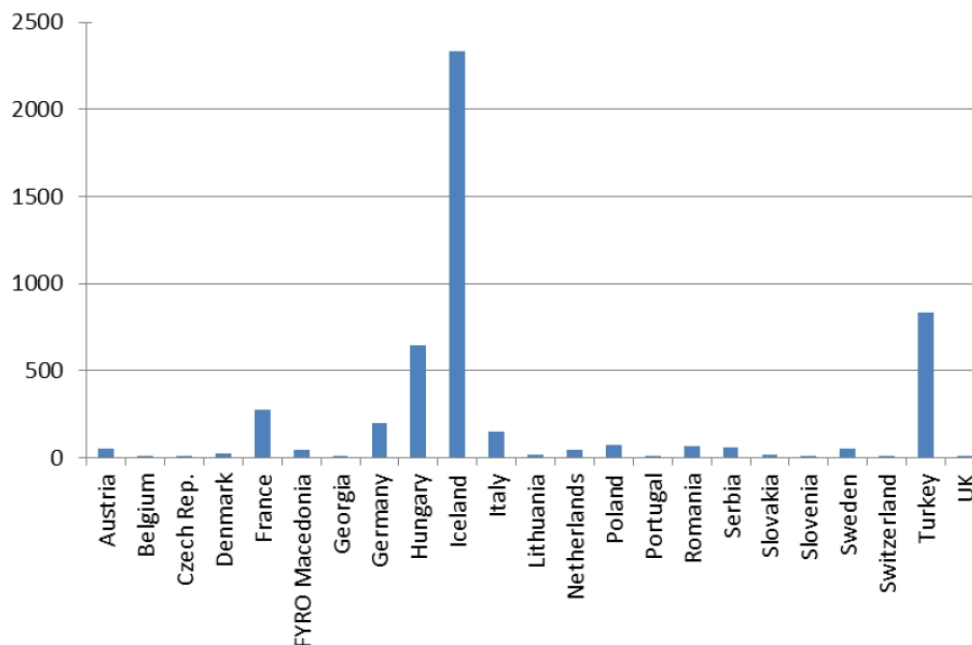


Figure 3 - Installed capacity [MW_{th}] of deep geothermal DH applications in Europe [3].

The ground source heat pump (GSHP) technology is suitable for small, individual houses as well as larger multi-family houses or groups of houses, with capacities ranging from under 10 kW_{th} to over 500 kW_{th}. The depths of geothermal heat

exchange ranges from a few meters to more than 200 m, depending upon the used technology, the geological situation, the demand profile, and other design considerations. For space cooling, in certain regions with moderate climate, direct cooling from the ground via cooling surfaces (ceilings, walls, floors) or other equipment is possible, allowing space cooling with minimum energy input. In warmer regions with higher cooling demand, the heat pump can be used in cooling mode.

For well-insulated houses with a forced ventilation system, the geothermal energy can contribute to pre-heating or pre-cooling the fresh air while it passes through intake pipes buried in the ground.

Another geothermal technology useful for a broad domain of applications is the underground thermal energy storage (UTES). Heating and/or cooling can be provided by using underground (aquifers, boreholes, basins, caves, pits etc) as a seasonal storage. For thermal balanced applications (the excessive heat or cold produced in one season matches the demand plus losses in the next exploitation season) UTES proves to be highly efficient. When the heating and the cooling demand do not match, additional equipment has to be used, preferably RES. In most of the cases, UTES is used in combination with CHP or solar collectors for mainly heating applications and with surface water or cooling towers for mainly cooling applications. Temperatures vary from 7°C for cold storages up to 90°C [4] for warm storages. In particular UTES at 40-90 °C can directly supply heat for low temperature industrial needs such as batch processes or seasonal industries (e.g. sugar refineries), where periods of heat (and/or cold) demand are followed by periods of inactivity.

Whilst the number of geothermal heat pumps with a capacity below 50 kW crossed the threshold of 1 million units in 2010, the geothermal heat pumps are already used in Southern Europe (Figure 4).

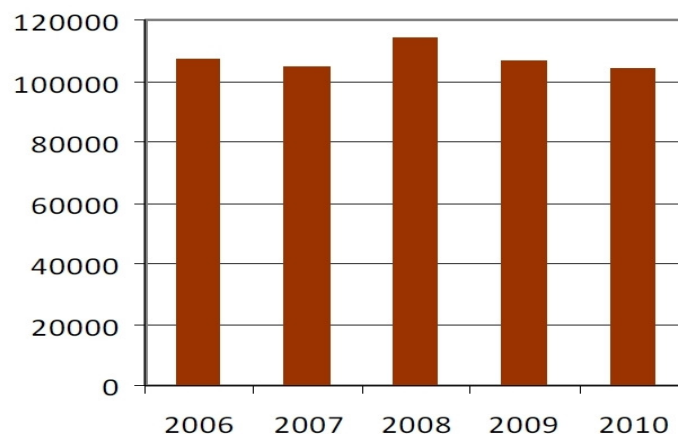


Figure 4 - Number of HP units sold per year according to HP Barometer (2011)

Further R&D and practical experience is crucial to fully exploit the advantages of geothermal heat pumps in warmer climates in supplying heat and cold from one single installation.

Success Stories

The year 2011 has shown a stable GSHP market at the European level. The economic and financial crisis had an impact on the GSHP market especially for the residential sector and in the most mature markets like Sweden, Germany and France. Losses here could be balanced by sales increase in emerging markets such as the UK and the Mediterranean countries. The increase there can be explained by the high potential for this technology and by the low number of installations already in place. The market is developing all over Europe and for all kinds of sectors: residential, tertiary and industrial (in the latter, in the form of UTES).

The hottest market

The highest number of units is still found in the Northern countries. Sweden has been dominating the market for over the last 30 years, and the growth is continuing, but at a lower rate. Finland and Denmark are also important markets for GSHP, as is the non-EU-country Norway.

It is also in the Nordic countries that the largest single installations can be found, with hundreds of borehole heat exchangers.

In Sweden, some signs of saturation can be seen, and a substantial share of new heat pumps (about one quarter) goes into the replacement of older units, and not in new installations. This follows the trend towards “re-powering”, as in other RES sectors. However, with increased efficiency of new heat pumps, existing ground coupling installations might have to supply a higher share of the useful energy, and thus need to be checked and adapted.

In Western Europe traditional, growing markets exist in France, Germany and Austria, and of course in Switzerland. In Germany, after a strong increase until 2008, the number for new GSHP is decreasing slightly; in France, the increase is still visible, and currently France, as the later starter, is on its way to overtake Germany in terms of total number and heat production. On the other hand, GSHP played a major role in the market for heating in new buildings in Germany over the last years. While the number of new constructions went down, the share of GSHP increased strongly, reaching a high of almost 14% of all new residential houses in 2009 and 2010.

Regarding UTES, Sweden and The Netherlands are the two main markets for these applications, with smaller numbers in other countries such as Belgium and Germany.

New entrants

The UK, The Netherlands, Belgium, Poland, Italy and Spain are today the fastest increasing markets for GSHP. Some specific problems hinder the success in UK: one reason is more technical, concerning the traditional construction methods and the low-

duty electricity distribution in older districts. The other reason is purely political and has a name, Renewable Heat Incentive (RHI). The RHI was originally a good idea and very welcome, but was then postponed and potential GSHP owners waited for a decision. The RHI still is not in force for the residential sector, and the proposals being discussed today are not encouraging.

Beside the countries listed above, smaller, but interesting markets exist in the Baltic countries and in Central and South-eastern Europe. The plant with the largest number of borehole heat exchangers (BHE) in Europe will be constructed in 2013 in the framework of ELI, the European Extreme Light Infrastructure project. The ELI Nuclear Physics Facility under construction in Măgurele, Romania, will be cooled by more than 1000 BHE!



Figure 5 – ELI-NP Building in Magurele, Romania, supplied by more than 1000 BHE, impression of Hachiko (2011)

Shallow geothermal heating and cooling is no longer exotic. The number of GSHP has increased steadily over the years, and the technology is well understood.

For residential houses, GSHP are already a routine in a number of countries. However, in total only a small portion of the potential of shallow geothermal energy is as yet in use in Europe.

There is still ample opportunity for further market growth, and the technological prospects endorse this expectation. In several countries a market-driven economy exists already, and might be boosted further by increasing fossil fuel prices. The use of GSHP for commercial applications can yield economic and environmental advantages. In particular, in cases where heating and cooling is required, the ground as heat source and sink can act as a kind of seasonal buffer storage.

The size of individual GSHP units ranges from about 5 kW_{th} for residential use to large units of over 500 kW_{th} for commercial, institutional and industrial installations. A number of huge plants in the MW_{th} range, typically using some UTES systems, highlight the technical opportunities of shallow geothermal. In Northern and Western Europe, most units are sized for the heating load and are often designed to provide the base load with peaks covered by fossil fuel in larger installations. With more new plants in Southern Europe, also the opposite appears: GSHP sized for meeting the (smaller) heating demand, and additional cooling machines for covering the peak cooling demand.

Some very interesting examples of larger installations in warm climate have been built in the last few years, among them a furniture retail building in Jerez de la Frontera in Spain, where the heat demand was only 1.8 % of the cooling demand. Using innovative approaches including seasonal and diurnal cold storage, a share of about 13% of the cooling demand could be met with the GSHP even under these imbalanced conditions.



Figure 6 - Furniture retail building in Jerez de la Frontera, Spain, using GSHP predominately for cooling.

Also “water-loop” GSHP, consisting of a larger number of small heat pumps for heating and cooling working on a single water pipeline, coupled with a BHE or groundwater wells and air coolers have been constructed in the Mediterranean region; the largest example with 208 BHE is located in Istanbul.

In global terms, the EU is one of the main regions using GSHP technology. At the end of 2012, the number of units was estimated at nearly 1.1 Million, representing an installed capacity in the order of 13,000 MW_{th}.

Sweden alone has more than 380,000 units running by the end of 2012, with a capacity of almost 4,000 MW_{th}. Germany still ranks second in the EU, with about 260,000 units installed at the same time. In France, the GSHP market in 2012 is estimated at over 15,000 new units, bringing the total number of geothermal heat pumps installed to about 180,000. According to AFPG, the French Geothermal Association, with 118.5 MW_{th} installed in 2011, the total installed capacity in the country is estimated to be 1,850 MW_{th}, while the annual production from GSHPs amounts to 2,800 GWh. During the year 2012, the geothermal heat pump market in Europe exceeded the threshold of 100,000 units sold annually for the sixth consecutive time. Projections with regard to heat production are really positive.

If the sector for geothermal heat pumps keeps growing at the rate of about 15% per year until 2020, it could achieve a cumulative capacity of ca. 40,000 MW_{th}.

Perspectives

Shallow geothermal systems consist mainly of the devices for exchanging heat with the underground and the components to make this heat available for use in the building, like the heat pump and conventional heating and HVAC (Heating, Ventilation & Air Conditioning) equipment. The heat pump as such is covered in the Cross Cutting research priorities. Any progress in HVAC components (better efficiency, lower cost, adaptation to temperatures delivered by geothermal systems) will also benefit the overall geothermal system. Specific R&D for geothermal heating and cooling in the residential sector thus mainly concerns ground-coupling technologies.

The performance of geothermal heat pump systems improved substantially since their introduction in Europe in the 1970's. The first plants were installed in Sweden, Germany, and Switzerland, used for heating only. In these regions the typical efficiency, expressed as Seasonal Performance Factor (SPF), increased from below 3 in the 1980's to well above 4 today, and with continued R&D, average values in the order of 5 seem feasible for 2020.

Component efficiency improvement: The most popular ground-coupling technology is the borehole heat exchanger (BHE); a good efficiency of a BHE results in a small temperature loss between the ground and the fluid inside the BHE. This temperature loss is controlled by the borehole thermal resistance which could be reduced by more than 40 % over the last ten years. The impact of this value to a defined shallow geothermal system is given by the Hellström-efficiency, which increased from below 60 % to about 70 % in state-of-the-art installations over the past 10 years. There is still room for improvement, so provided the technology progress is continued, efficiencies of about 80% in 2020 seem achievable.

The cost shows a steady reduction in the last decades. A study of the Swiss Heat Pump Association (Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz, FWS) calculated the cost for a BHE-system (drilling, heat exchanger, and heat pump) for a small house, and found a reduction of 27.5 % over 12 years, from 1992 to 2004. In fact, the situation concerning the first cost is a bit more complicated. Better efficiency results in a decrease in energy input for operating the geothermal heat pump system that is much more pronounced than the slight reduction in first cost. In recent years, the lifecycle cost of a fuel oil boiler has surpassed the price of an average shallow geothermal system.

Study case in Romania

In Romania, the RES market is dominated by far by electricity production, having already one of the biggest wind turbines plant in Europe (1100 MW_{el} capacity) and several PV power plants.

In most of the Romanian cities, heating has been provided from district power plants built back in the 1980's, based on co-generation, using coal, gas or oil as energy source. Since then, no major improvements were made, so the overall efficiency dropped significantly leading to increased heating costs. The final users could not bear the bills and switched to alternative heating systems, especially to individual gas boilers (microCT). Today, only 95 cities are still connected to district heating, compared to 315 in 1989 (Figure 7).

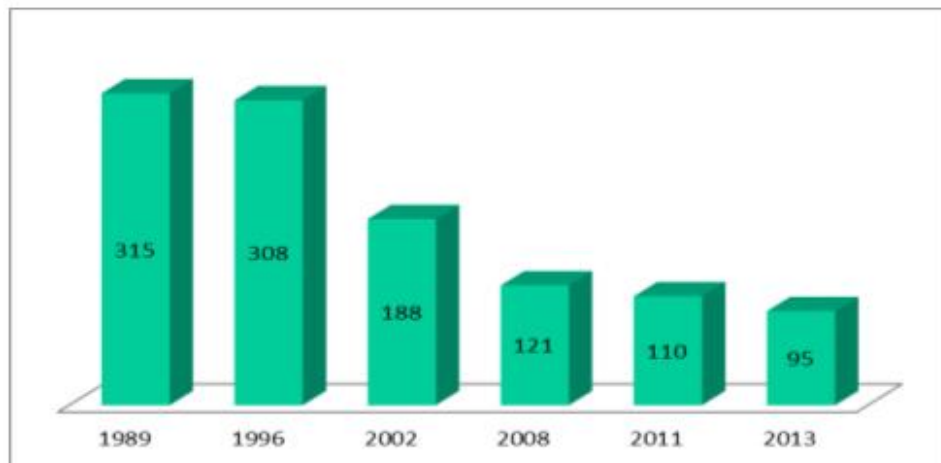


Figure 7 - Number of cities connected to District Heating system in Romania, from 1989

To keep the heating costs affordable, the government pays a lot of money, giving a general subsidy for district heating (around 45% of the full price). The National Authority for Energy Regulation (ANRE) states that 1 billion euro per year were spent for those 95 district plants which provide affordable heating and electricity for

population. The actual share divided on fossil fuel types, used in those district power plants, is shown in (Figure 8).

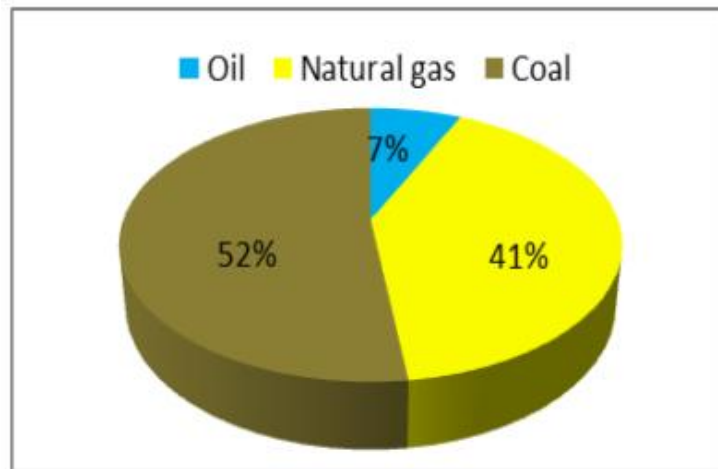


Figure 8 - Fuel source for District heating and electricity production (in old CHP) in Romania. Dates from 2008.

For the 2012-2013 winter, in Bucharest, the heating price was 61 Euro per MWh_{th} (one of the lowest prices compared to the other 94 cities). The price was subsidised by the municipality of Bucharest up to 48%, resulting a price of 31.7 Euro per MWh_{th} for the final user. For the upcoming years, the subsidy will not be paid any more, and the final user will have to support the full price for heating.

The National program of Building Refurbishment helps the situation by reducing the heating demand up to 40% but up to now, in Bucharest only 2% of the total amount of buildings was refurbished. The program initially established to share the investment costs as follows: 33% to be paid by the government, 33% by local authorities and 33% by owners (beneficiaries). It didn't work this way and therefore the share for owners was lowered to 20% and the rest is further on covered by the local authorities (municipalities).

In a case study for Bucharest, Romania, we tackled the feasibility aspects of using district geothermal heating for a condominium. The reference case is based on a residential area, connected to a district heating system, supplied by old CHP plants, running on fossil fuels (mostly gas). The residential area is formed of multi-storey buildings and has a maximum heating demand of 1MW_{th} . The total heated area equals to 240 conventional apartments of 50m^2 , which have an individual annual consumption of 8.14 MWh/yr . The calculation parameters were set according to Table 1.

Table 1

Calculation parameters	
Calculation parameters	Values
Total heated area	12000m ²
Heated area of a conventional ap.	50m ²
Total number of conventional ap.	240
<u>Investment</u>	
Individual gas boiler (microCT)	1700 Eur
Shallow geothermal plant	4200 Eur/ap.
Deep geothermal plant	5000 Eur/ap.
<u>Estimation of energy costs increase evolution</u>	
Gas	5% per year
Electricity	2% per year

The investment costs for geothermal plants were set according to the European average costs indicating 0.65-2.0 Mil.Eur/MW_{th} for shallow systems and 1.5-2.2 Mil.Eur/MW_{th} for deep systems.

Evolution of gas price for the next 20 years was set to an average of 5% per year due to limited existing resources, early shale gas technologies and expensive biogas production.

Electricity price increase was set to 2% per year especially due to renewable electricity producing and smart grids developing. Even if at this moment, a part of the government incentives, given for implementing new technologies, are paid by the final users, on a long term, the evolution of costs will be in favour of electricity.

A simulation was made for a conventional apartment with an annual consumption of 8.14 MWh_{th}. Initially the apartment was considered connected to an old district heating network (old CHP), paying around 500 euro in the first winter for heating and hot water. The price per MWh_{th} increases with 5% per year, having gas as primary fuel.

The second option was to disconnect it from the old district heating network and to install an individual gas boiler (more than 140.000 gas boilers were installed in Bucharest). The entire effort costs around 1700 euro (money spent entirely by owners). The price per MWh_{th} is again influenced by the price of gas but avoiding this way the loss over the distribution network. In the first year, the price was 420 Euro and it increased by 5% per year. The yellow curve in Figure 9 represents the heating costs for individual gas boiler.

Every two years, the gas boiler needs to be checked by authorised personnel. The service is called “periodical technical verification” (VTP) and it costs 40 Euro-this is the reason why the curve is not straight.

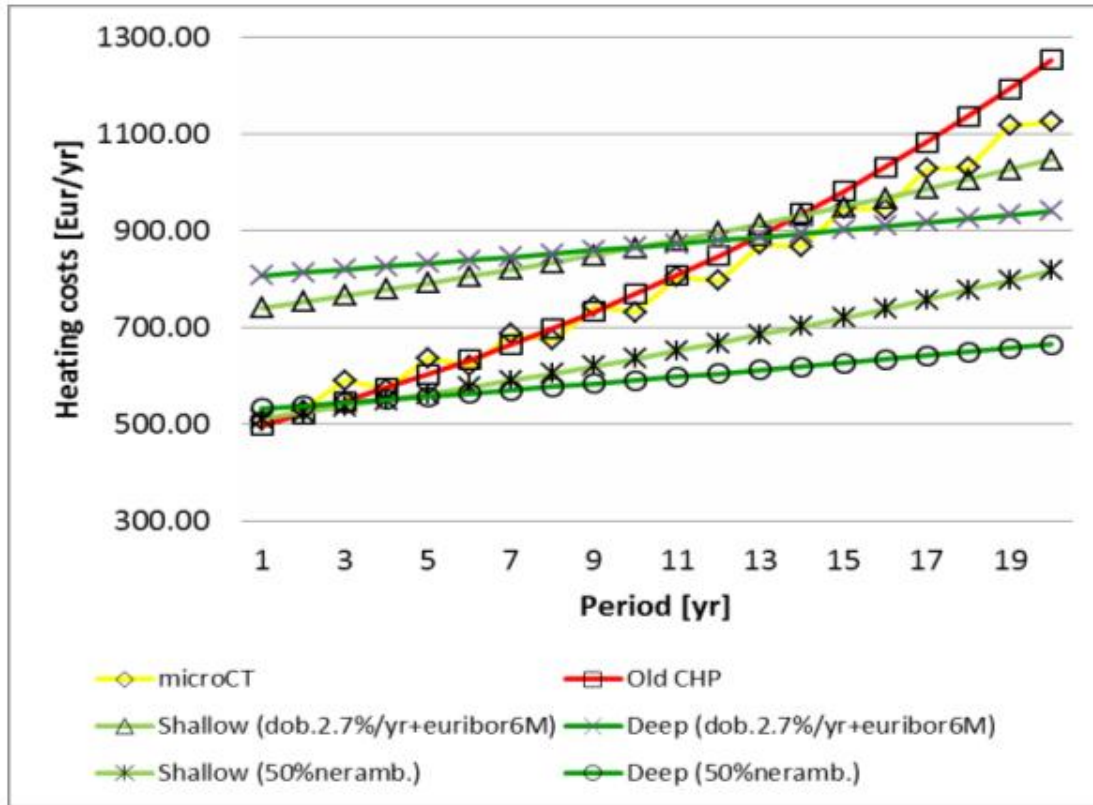


Figure 9 – Heating costs for a conventional apartment in Bucharest of 50 m² with an annual consumption of 8.14 MWh_{th}

Another approach was to change the destination of the thermal substation which provides heating and hot water for the entire condominium (240 apartments). There are 870 thermal substations in Bucharest and have enough space to turn them into geothermal power plants.

Under this case study, we considered two cases: a) shallow geothermal based on HP technology and b) deep geothermal based on CHP-HP-ATES technology.

The shallow geothermal is running with water from Fratesti aquifer in an open loop heat pump system. The investment costs were set to 1 mil.Euro. The system running costs were set at 30 Euro per MWh_{th} and the price for district heating will reach 50 euro per MWh_{th}[5].

The deep geothermal system uses a seasonal thermal storage (ATES), placed in a geothermal reservoir at approximately 1500 meters depth; a cogeneration gas turbine (CHP) which provides electricity for running the system, gives a temperature boost for

heating, provides DHW and delivers the excess heat for ATES recovery during summer; and heat pumps (HP) to provide heating in a second stage (lower input temperatures from the storage). The investment costs for this application rises to 1.2 mil Euro considering that the same ATES is used by at least 4 other power plants, sharing the costs for drilling and exploitation. System running costs were set at 30 Euro per MWh_{th} and price for district heating will reach 50 euro per MWh_{th}.

Both geothermal investments were set according to the following scenarios:

- 1) Loan from the bank with 2.7% interest per year plus Euro Interbank Offered Rate (euribor 6M).
- 2) A share of 50% from local authorities who paid subsidies up to now and 50% non-refundable co-finance from the EU

The investment costs were divided over the 20 years of exploitation, according to the graph in Figure 9.

We notice that the individual gas boiler and both geothermal systems (with loan from the bank) recover the investment in less than 15 years. If 50% of the investment can be obtained from the EU as non-refundable co-financing, according to RES policies, than the geothermal systems will be able to provide heating at lower prices (than the old CHP) from the first years, giving the chance to authorities to recover the investment from the end users (the 50% share) over the next 20 years.

Another important aspect regarding heating systems refers to greenhouse gas (GHG) emissions. The CO₂ emission factors were set at the EU level and mentioned in NREAP for the common applications – they are specified in Table 2, and estimations are made for particular cases.

Table 2

CO ₂ emission factors		
Fuel type	Factor	Obs.
Natural gas in old CHP	0.300	Estimation
Natural gas in microCT	0.202	EU average
Electricity from NEG	0.701	EU average
Electricity from PV	0.000	Estimation
Electricity for HP (compressor+additional electrical heater)	0.120	Estimation

Emissions for geothermal systems were calculated according to the electricity consumption for pumping and heat pumps usage (compressor and additional electrical

heating device). Results are shown in Figure 10. The total electrical consumptions are known as E_{driving} , important value to determine the performance of the HP system.

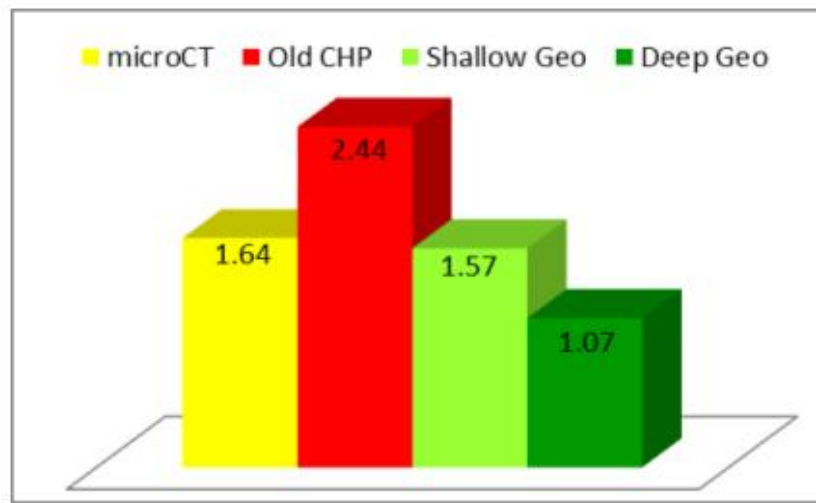


Figure 10 – CO₂ emissions [tons per year] for a conventional apartment in Bucharest of 50 m² with an annual consumption of 8.14 MWh_{th}

For the considered application, deep geothermal system reduces the CO₂ emissions with 56% and the shallow geothermal with 37%, comparing to the old district heating system.

Buildings certification procedure refers, according to EPBD Recast, to specific annual energy consumption, in terms of primary energy. Therefore we studied the EPB sensitivity due to refurbishment methods. On one hand we are talking about improving the buildings envelope by decreasing the overall U value - this process is running under the National Program of Thermal Refurbishment. On the other hand, at least equally important is refurbishing the technical system of the buildings by implementing renewable resources according to the RES Directive.

Two general cases were analyzed:

- 1) Refurbished buildings with a specific energy consumption of 100kWh/m²yr, at final user, connected to the technical systems discussed previously and
- 2) Non-refurbished buildings with a specific energy consumption of 350kWh/m²yr, at final user, connected with the same technical systems as at pt.1

The use of geothermal energy for buildings refurbishment in Europe - technologies, success stories and perspectives

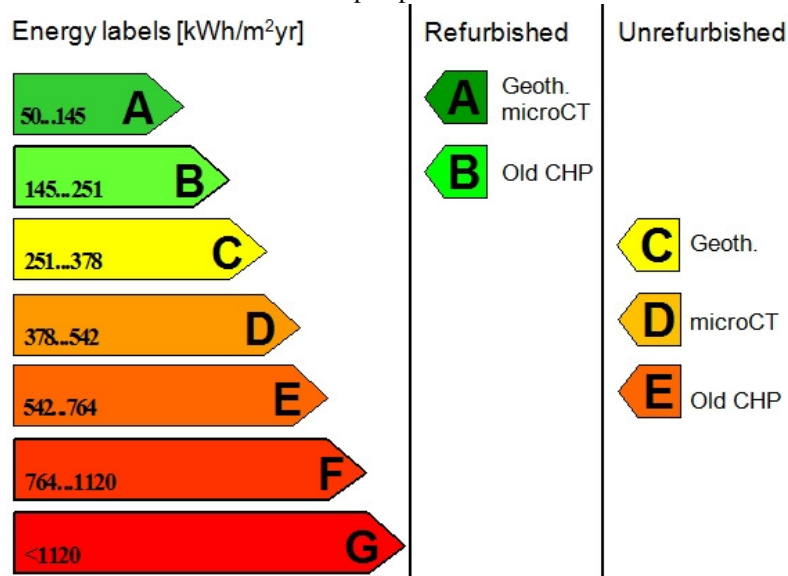


Figure 11 - Energy performance certification for refurbished / un-refurbished buildings, connected to several energy sources

The energy certificate in Figure 11 was made according to EPBD Recast, expressing the energy at final user in terms of primary energy. The calculus was made using the general conversion factors, mentioned in Table 3.

Table 3

Primary energy conversion factors	
Energy source	Conversion Factor
Thermal energy from old CHP	2.0
Electricity from old CHP	2.5
Energy from microCT	1.1

The refurbishment process reduces significantly the energy demand of the buildings, ranking them at least 3 classes higher on the energy performance scale. In terms of CO₂ emissions, the rank is not yet reaching the 2020 targets and committed through NREAP.

We notice that after refurbishment, both sources (Geothermal and microCT) bring the buildings to class A. To get a clearer picture on which one is more efficient we need to split the A energy class in three subclasses (A1, A2, A3 or A, A+, A++). The top subclass will be attributed to very efficient buildings with the total specific energy (Heating, Cooling, Ventilation, DHW, and Lightning) smaller than 50kWh/m²yr, called as nZEB. The other 2 subclasses will be set according to the Romanian particularities (climate and economic situation).

Conclusions

➤ A great future can be expected for the geothermal sector, with positive trends for the next ten years. Shallow geothermal is on track for reaching the targets for 2020 set forth in the NREAPs, with a total of about 2,500 ktoe actually produced in 2011. Deep geothermal is proper for district heating, especially in crowded cities and it is proved to be efficient next to CHP plants.

➤ New materials and technologies are developing, increasing the RES market and lowering the prices for the previous ones. Future markets are comprises of both: large systems in Germany, France and UK, and small and large systems for heating and cooling in Mediterranean countries, mainly Italy and Spain.

Investments in geothermal systems can be co-financed from non-refundable European funds, especial in developing member states.

References

- [1] Sanner B.(2012), “Recent Market Developments in Geothermal Heating & Cooling”, RHC Platform, Copenhagen
- [2] European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling (2011), “2020-2030-2050, Common Vision for the Renewable Heating & Cooling sector in Europe”
- [3] EGEC (2012),”Geothermal District Heating Market in Europe”, Geothermal Market Report 2012
- [4] Vetter A., Mangelsdorf K., Schettler G., Seibt A., Wolfgramm M.,Rauppach K., Veith-Hillebrand A., (2012), “Fluid chemistry and impact of different operating modes on microbial community at Neubrandenburg heat storage (Northeast German Basin)”
- [5] EGEC (2008), “Research agenda for geothermal energy- 2008-2030”

Analiza eficienței utilizării recuperatoarelor de căldură cu plăci în clădiri civile*

The efficiency of using recovering plate heat exchangers in civil buildings

Dr. Vera Guțul G.¹, ing. Serghei Putiveț², ing. Vera Guțul³

Universitatea Tehnică a Moldovei

Or. Chișinău, str. Ștefan cel Mare 168, Republica Moldova

E-mail: gutulvera@yahoo.com, putivets@gmail.com, veravutcariov@yahoo.com

REZUMAT. În lucrare s-a analizat cheltuielile specifice pentru încălzirea aerului de ventilare în clădiri civile, cu utilizarea diferitor surse de energie. Efectuând calculul perioadei de recuperare a schimbătoarelor de căldură cu plăci, în funcție de debit de aer al instalației de ventilare, de numărul de ore al funcționării sistemului de ventilare, de sursa de alimentare cu căldură, de prețul recuperatorului, s-a analizat oportunitatea utilizării recuperatoarelor de căldură.

Cuvinte cheie: schimbătoare de căldură, perioada de recuperare, surse de energie.

ABSTRACT. In the work were analyzed the specific expenses for heating of the air ventilation in civil buildings, using different energy sources. Performing the calculations of the recovery period of plate heat exchangers, that depends of the air flow ventilation system, of the number of hours functioning ventilation, of the unit price recovery, of the power source has been analyzed the opportunity of the using the heat recovery system.

Key words: heat exchangers, recovery period, energy sources.

Introducere

Necesitatea de a micșora consumurile de energie și de a îmbunătăți eficiența energetică a instalațiilor de ventilare și climatizare, în contextul crizei energetice, au devenit o prioritate majoră. În condițiile creșterii continuă a prețurilor pentru toate tipurile de energie în Republica Moldova, care nu dispune de resurse energetice proprii, este deosebit de important utilizarea eficientă a energiei, precum și punerea în aplicare a noilor echipamente eficiente (de exemplu, utilizarea recuperatoarelor de căldură) și folosirea surselor alternative de energie.

* Lucrare inclusă în programul conferinței "Romanian Conference on Energy Performance of Buildings (RCEPB 2013)"

Conținutul lucrării

În sistemele de ventilare costurile pentru încălzirea aerului refulat a crescut semnificativ în ultimii ani. Consumul de energie termică la încălzirea aerului refulat pentru clădiri civile este echivalent cu consumul de căldură pentru încălzire. Pentru încăperile de birouri conform [1] este indicat debit de aer specific de $3 \dots 4 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$. În funcție de gradul de izolare termică a îngrădirilor exterioare raportul dintre sarcina termică pentru ventilație și sarcina termică de încălzire variază de la 0.3 până la 1.2, iar pentru centre comerciale și centre distractiv-comerciale raportul dat poate depăși în mod semnificativ limita specificată.

În fig. 1 sunt prezentate cheltueli specifice pentru încălzirea aerului refulat atribuit la 1 m^2 de spațiu util, ($\text{lei}/\text{an} \cdot \text{m}^2$) pe perioada ianuarie 2008-2013 pentru clădiri de birouri (pentru 8 ore de lucru cu 2 zile de odihnă) și centre comerciale, (pentru 16 ore de lucru fără zile de odihnă) care diferă în funcție de orele de lucru.

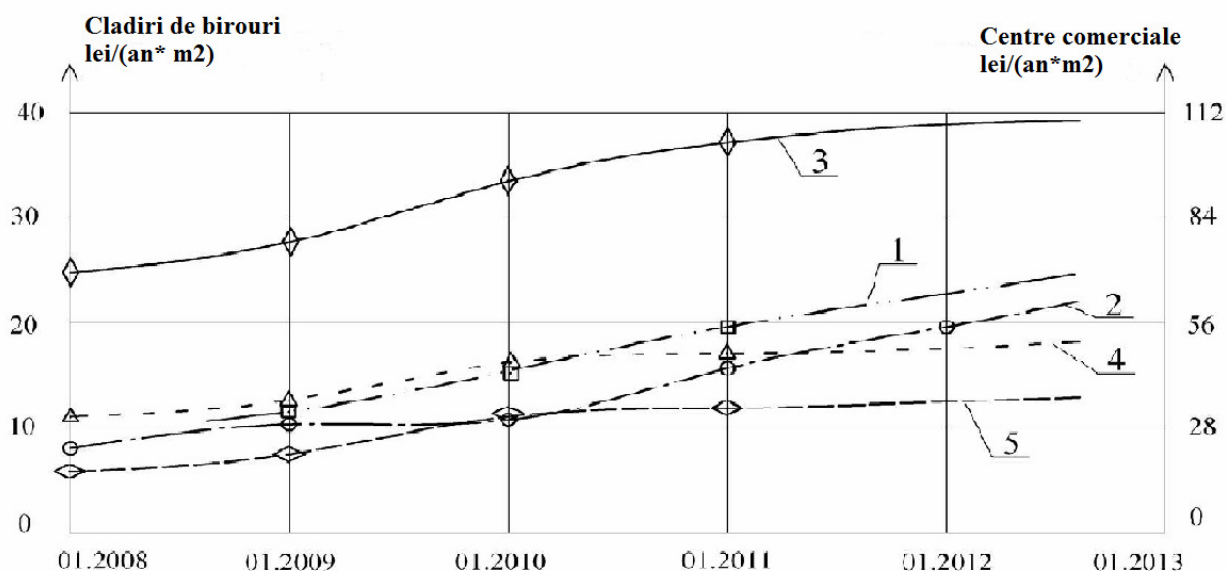


Fig. 1. Cheltueli specifice pentru încălzirea aerului de ventilare în clădiri de birouri și centre comerciale la utilizarea diferitor surse de alimentare cu energie: 1- rețele termice; 2- cazangeria autonomă pe gaz natural; 3- cazangeria autonomă cu baterii electrice; 4- pompă de căldură „aer-aer”; 5- pompă de căldură cu schimbător de sol

Parametrii de calcul a aerului exterior pentru Chișinău sunt adoptați din literatura de specialitate [2]. În clădirile comerciale schimbul de aer este adoptat reeșind din: debitul minim de aer proaspăt refulat de $20 \text{ m}^3/\text{h}$ la o persoană; numărul de persoane în sala de vânzări este determinat în conformitate cu [3], la rata de o persoană pe suprafața de 2.5 m^2 a sălii de vânzări.

În afară de energia tradițională: apa ferbinte din rețelele termice centralizate; gaze naturale, pentru prepararea apei calde în cazane autonome și utilizarea directă a energiei electrice pentru bateriile de încălzire electrice din centralele de ventilare în lucrare sau examinat și pompele de căldură cu compresor electric. Pentru pompele de

căldură tip „aer-aer” rata medie anuală de conversie a energiei se presupune a fi 2,2, iar pentru pompele de căldură cu schimbător de sol – 3,5.

Conform dependențelor 1-3 din fig. 1 în ultimii ani se observă o creștere rapidă a cheltuielilor pentru încălzirea aerului refutat în bateriile de încălzire, la utilizează în calitate de agent termic a apei ferbinte din cazangerii autonome ce utilizează gaze naturale, sau din rețele termice. Trebuie de menționat faptul că costurile la funcționarea bateriilor de încălzire electrice sunt în continuare mai costisitoare.

Dependențele 4 și 5 din fig.1 indică metode de perspectivă pentru a obține căldură din surse netradiționale de energie - aerul și solul. Însa trebuie de luat în considerare că obținerea energiei termice din astfel de surse necesită achiziționarea echipamentului care este costisitor și au o perioadă de recuperare de lungă durată, în plus necesită servicii calificate de întreținere. În lucrarea dată astfel de surse nu au fost examinate.

În prezent există mai multe tehnologii care dau posibilitatea de a economisi energia și care pot fi realizate prin următoarele metode:

1. Recuperarea energiei prin recircularea aerului.
2. Recuperarea căldurii din aerul evacuat de instalațiile de ventilare generală și climatizare.

Sistemele de recuperare a căldurii se pot clasifica în următoarele categorii:

- după destinație : centrale și descentralizate;
- după principiul de funcționare : regenerative, recuperative și cu pompă de căldură;
- după executarea constructivă: în funcție de firma-producătoare.

Recuperarea unei părți de energie conținută în aerul evacuat în principiu intercalează în circuitul aerului proaspăt și evacuat a unui schimbător de căldură.

În rezultatul analizei comparative a metodelor și tipurilor de recuperare a energiei termice, s-a constatat că cele mai simple și eficiente sunt recuperatoare de căldură cu plăci, care au o eficiență ridicată, etanșitate sporită, pierderi de sarcină moderate, rezistente la coroziune și simplu de întreținut. Utilizarea recuperatoarelor de căldură în sistemele de ventilație sunt reglementate de documentația normativă actuală în construcție [4, 5].

În nomenclatura firmelor-producătoare de recuperatoare se pot distinge serii, care se caracterizează prin debit de aer redus (până la 2500 m³/h) și de capacitate mare (peste 2500 m³/h). Echipamentele fabricate de companiile internaționale bine-cunoscute, în general, se referă la producția de mare preț. Pe piață există, de asemenea, echipamente cu caracteristici tehnice similare cu acestea, dar la un preț mai mic, care atrage cumpărătorii.

Un indicator important pentru alegerea schimbătorului de căldură este perioada de recuperare a investiției care se determină cu relația:

$$\tau = \frac{P}{C}, \text{ ani} \quad (1)$$

în care: P - costul echipamentului, în lei; C - costul energiei economisită în perioada de un an, în lei/an.

În calcule sau luat în considerare randamentul termic al schimbătorului de căldură, care este, în funcție de producător $\varepsilon = 46 \dots 60\%$ [6].

În fig. 2 se compară perioadele de recuperare a utilajului de productivitate scăzută (până la 2500 m³/h) din două oferte de pret - mai scump și mai ieftin - pentru ultimii ani. Calculele efectuate iau în considerare schimbările prețurilor pe ani (2009-2012) pentru energia termică furnizată de rețelele termice municipale, pentru gaz natural și energia electrică, precum și prețul de echipamente furnizate de firmele-producătoare. A fost examinat programul de lucru pentru birouri timp de o săptămână, cu 8 ore de lucru pe zi și 2 zile de odihnă.

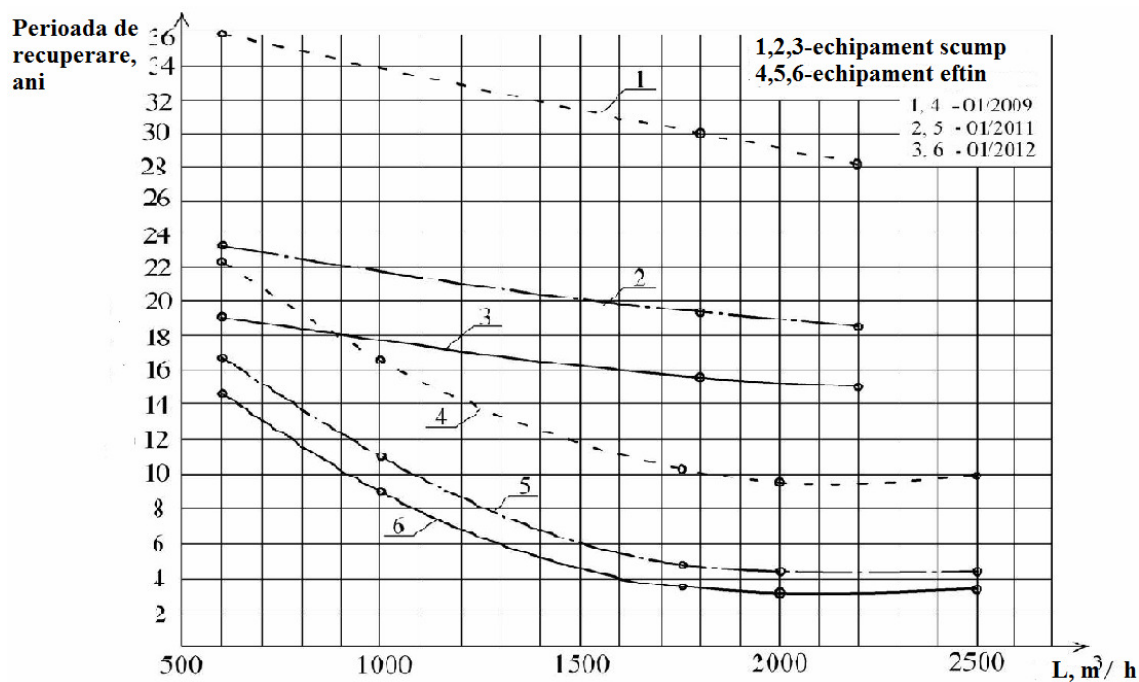


Fig. 2. Dependenta perioadei de recuperare a schimbătoarelor de căldură cu plăci funcție de debitul de aer, pentru cazul alimentării cu căldură de la cazangerie autonomă pe gaz natural

Dependențele 1, 2, 3 (echipament scump) din fig. 2 arată tendința reducerii perioadei de recuperare a schimbătorului de căldură cu plăci, însă rămâne majorată constituind peste 15 ani, fiind neprofitabilă pentru mulți clienți.

În același timp, dependențele 5 și 6 din fig. 2. arată fezabilitatea de echipamente relativ ieftine, perioada de recuperare este de aproximativ 4 ani pentru modelele cu debit de aer 1500 ... 2500 m³/h. Modelele cu o capacitate de pana la 1000 m³/ h au o perioadă de recuperare mai mare, mai mult de 8 ani.

Perioada de recuperare a schimbătoarelor de căldură scumpe în cazul utilizării intensive (cu 16 ore pe zi lucrătoare și fără zile de odihnă), care este caracteristică pentru sistemele de ventilație ale centrelor comerciale, este prezentată în fig. 3.

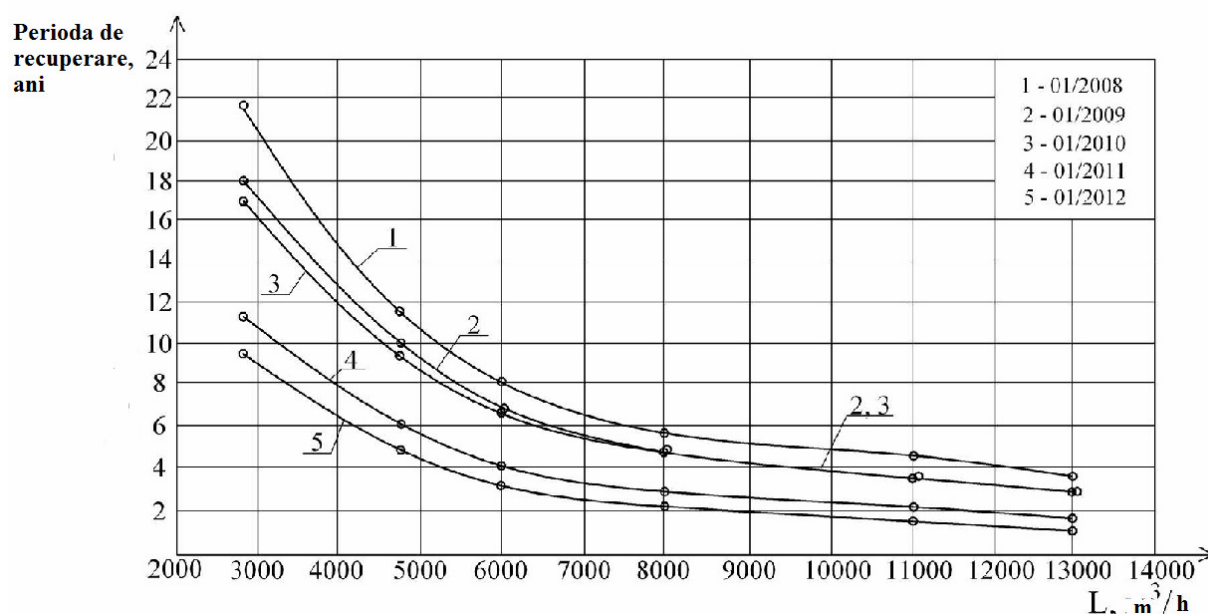


Fig. 3. Dependența perioadei de recuperare a schimbătoarelor de căldură cu plăci cu preț înalt funcție de debitul de aer, pentru modele cu debitul de aer mai mare de 2500 m³/h, pentru cazul alimentării cu căldură de la cazangerie autonomă pe gaz natural

Dependențele 1-5 din fig. 3 arată că perioada de recuperare a schimbătoarelor de căldură cu plăci a scăzut în această perioadă de la 2 -3,5 ori. Din analiza dependenței 5 din fig. 3, se poate concluziona că, în prezent, din punct de vedere economic este rațional de a utiliza modele cu debite de aer mai mari de 4000 m³/h, care au o perioadă de recuperare de scurtă durată - mai puțin de 4 ani.

Trebuie remarcat faptul că, în calculele efectuate nu au fost luate în considerare toți factorii care influențează perioada de recuperare a schimbătoarelor de căldură cu plăci. Perioada de recuperare reală într-o abordare mai profundă a soluționării acestei probleme ar putea fi ceva mai mare.

Concluzii

În baza calculelor efectuate, se poate concluziona că actual luând în considerație prețurile pentru energie termică din surse centralizate de căldură, pentru gaze naturale și energie electrică și că aceste prețuri permanent se schimbă, includerea recuperatoarelor de căldură cu plăci în sistemele de ventilare va permite o funcționare eficientă.

Referințe

- [1] NCM C.01.04-2005. Clădiri administrative. Norme de proiectare.
- [2] NCM A.07.05-2006 Climatologia în construcții.
- [3] СНиП 2.08.02-89*. Общественные здания и сооружения.
- [4] СНиП 2.04.05-91*. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
- [5] NCM E.04.03-2008. Conservarea energiei în clădiri. Norme de proiectare.
- [6] Колунов О., Иванов О. Энергосбережение в системах вентиляции и кондиционирования за счет применения утилизации теплоты удаляемого воздуха. Сб. научных трудов СПбГУНиПТ. Холодильная и криогенная техника, 2003, №1.

Recuperator de căldură cu tuburi termice pentru valorificarea energiei reziduale în clădiri*

Heat Pipe Heat Exchanger for waste heat recovery in buildings

Andrei Burlacu¹, Marius Costel Balan¹, Vasilică Ciocan¹, Marina Verdeș¹

¹Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, Romania
Facultatea de Construcții și Instalații
Departamentul de Ingineria Instalațiilor
E-mail: andreibu@yahoo.com

Rezumat. *Lucrarea prezintă un recuperator de căldură cu tuburi termice de concepție originală, proiectat pentru prepararea apei calde, utilizând ca agent primar gazele evacuate rezultate din diferite procese de ardere. Recuperatorul de căldură beneficiază de multiple avantaje, dintre care un cost redus pentru realizare, exploatare și mentenanță precum și ușurința instalării și utilizării.*

Cuvinte cheie: Recuperator de căldură cu tuburi termice

Abstract. *The present paper presents a heat pipe heat exchanger originally designed for the hot water preparation using as a primary agent the hot exhaust gases of a burning process. The proposed device has a lot of advantages as low cost of manufacturing, exploitation and maintenance and it is very easy to install and use.*

Key words: Heat Pipe Heat Exchanger

1. Introducere

Valorificarea formelor neconvenționale de energie și a deșeurilor termice a condus la dezvoltarea și implementarea diferitelor tipuri de recuperatoare de căldură. Există o gamă foarte largă de schimbătoare și recuperatoare de căldură, din ce în ce mai perfecționate și mai eficiente, între care, recuperatoarele cu tuburi termice au astăzi un loc bine cunoscut.

Reducerea consumului de energie în clădiri prezintă o relevanță socio-economică deosebită, motiv pentru care sunt promovate programe intensive de reabilitare și modernizare energetică atât a anvelopei cât și a sistemelor de instalații.

Compactitatea și posibilitatea de reglare a fluxului transferat recomandă schimbătoarele de căldură cu tuburi termice pentru aplicații în domeniul încălzirii și preparării apei calde de consum precum și climatizării și ventilării mecanice.

Proprietatea de reversibilitate și fiabilitatea ridicată conferă acestui tip de aparate calitatea de a putea fi utilizate atât pentru răcirea cât și pentru încălzirea diversilor agenți termici.

* Lucrare inclusă în programul conferinței "Romanian Conference on Energy Performance of Buildings (RCEPB 2013)"

În ciuda unor preturi puțin mai ridicate ale acestor recuperatoare, se estimează că avantajele pe care le prezintă vor asigura o dezvoltare promițătoare.

Valorificarea energiei neconvenționale și valorificarea deșeurilor și a formelor de recuperare de căldură au condus la dezvoltarea și punerea în aplicare a diferitelor tipuri de recuperare a căldurii.

Recuperatorul are aplicabilitate la scara largă putând fi folosit la:

- Preîncălzirea apei de adaos sau de alimentare la cazane;
- Preîncălzirea aerului de combustie;
- Încălzirea incintelor cu aer sau apa caldă;
- Încălzirea apei calde menajere.

Principalele avantaje ale recuperatorului de căldură constau în:

- Etanșeitate foarte bună între cele două medii; nu există pericolul de amestec a celor două medii (gaze arse – fluid de încălzit);
- Transferul de căldură se realizează practic instantaneu;
- Eficiență termică ridicată;
- Fiabilitate;
- Nu există solicitări mecanice sau termice;
- Costuri scăzute de exploatare și mentenanță;
- Funcționare îndelungată.

2. Descrierea recuperatorului cu tuburi termice

Aparatul a fost echipat cu tuburi termice produse de *nPowerTek Company, Taiwan* cu următoarele caracteristici:

- diametru exterior 10 mm;
- lungime 1000 mm;
- flux termic maxim transportat la 200 °C = 330 W;
- temperatura de operare: +5 până la +230 °C
agent de lucru : apă.

Recuperatorul de căldură (Figura 1) este format din două zone principale. Partea de preluare a căldurii (vaporizatorul), de la un agent termic rezidual, în acest caz gazele de ardere de la procese de combustie și partea de cedare (condensatorul), în care un debit de apă rece stabilit se încălzește prin intermediul tuburilor termice.

Au fost studiate mai multe ipoteze funcționale, pentru a surprinde cât mai bine eficiența acestui tip de recuperator de căldură cu tuburi termice.

Tehnologia de execuție a tuburilor termice este relativ simplă, singura problema mai delicată fiind realizarea gradului de vid din interior. Nerealizarea corectă a acestuia ducând la funcționarea necorespunzătoare.

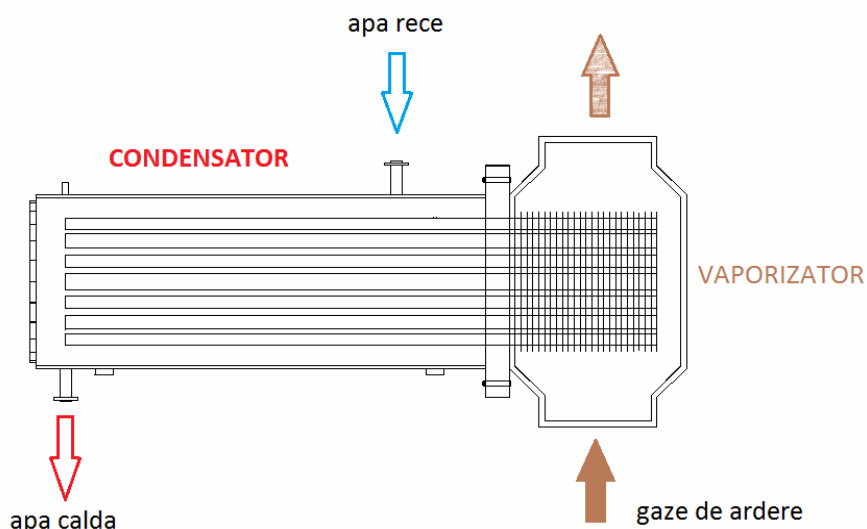


Figura 1

Pentru realizarea recuperatorului de căldură s-au utilizat 13 tuburi termice cu diametrul de 10mm și lungimea de 1m. (Figura 2, 8, 9, 10)

Pentru mărirea suprafeței de schimb de căldură și pentru intensificarea transferului convectiv, pe partea de aer au fost introduși promotori de turbulență. (aripioare pe tuburile termice sub forma de spirala, în spațiul de circulație a aerului din zona de condensare).

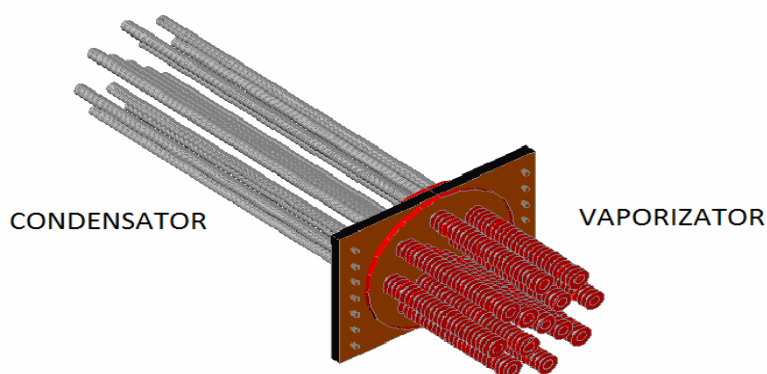
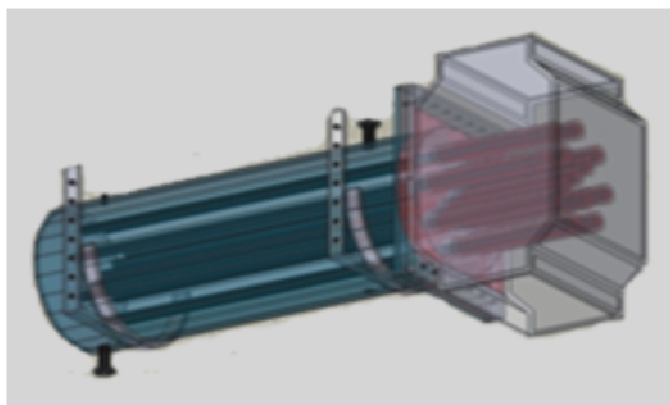


Figura 2



Rezervorul (Figura 3) este realizat din tablă de oțel inoxidabil, izolat corespunzător, prevăzut cu o supapa de suprapresiune, flanșă pentru integrarea ușoară în tubulatura coșului pentru evacuarea gazelor arse, suportți pentru ancorarea în perete executați din oțel cornier și cu un record branșat la conducta de apă rece și unul pentru apa încălzită în rezervor. (Figura 4)

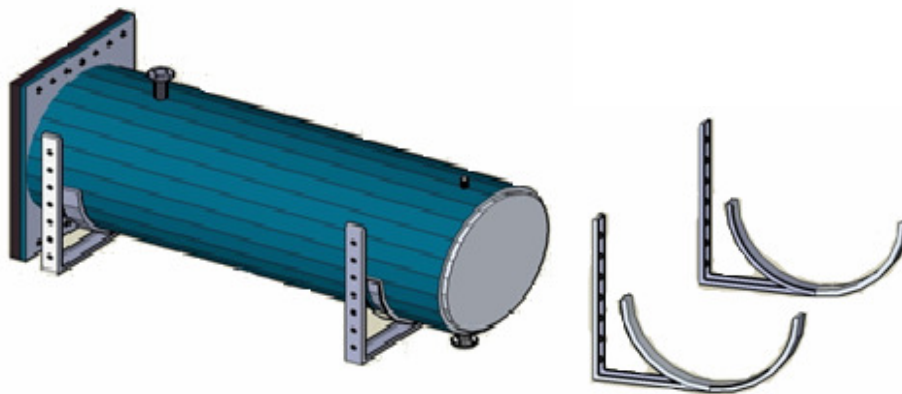


Figura 3

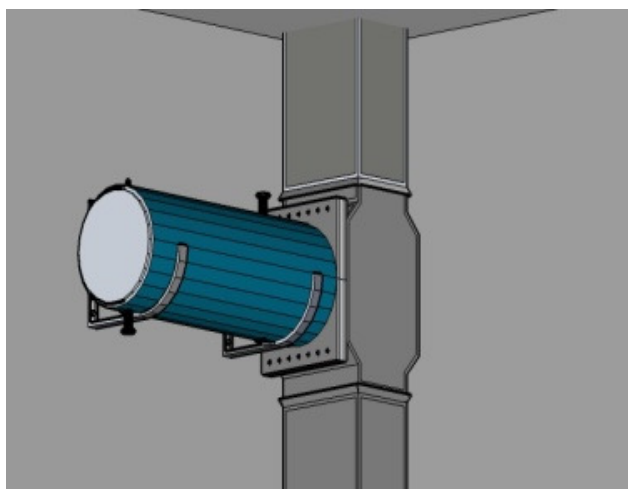


Figura 4

3. Principiu de funcționare

Recuperatorul de căldură a fost dimensionat pentru prepararea unui volum de apă caldă de 84,78 litri, la temperatura de 40°C corespunzător necesarului specific de apă caldă de consum conform STAS 1478.

Condiția inițială a fost ca fluxul termic primit de la agentul primar să fie egal cu fluxul termic cedat agentului secundar.

Pentru a respecta aceasta condiție s-a mărit suprafața de schimb de căldură a vaporizatorului prin adăugarea unor aripioare elicoidale pe suprafața tuburilor termice din vaporizator (Figura 2).

$$Q_1 \cong Q_2 \quad (1)$$

Recuperator de căldură cu tuburi termice pentru valorificarea energiei reziduale în clădiri

$$Q_1 = \alpha_{aer} * s_1 * \Delta t_1 \quad [\text{W}] \quad (2)$$

$$Q_2 = \alpha_{apa} * s_2 * \Delta t_2 \quad [\text{W}] \quad (3)$$

Unde:

- Q_1 –fluxul termic primit de la agentul primar in vaporizator,in [W]
- Q_2 - fluxul termic cedat agentului secundar in condensator, in [W]
- α_{aer} si α_{apa} -coeficienti de transfer termic convectiv pentru aer si respectiv apa,in [W/m² °C]
- s_1 si s_2 - suprafețele de schimb de caldura, a vaporizatorului respectiv a condensatorului in [m²]. $s_1=6.6 \text{ m}^2$; $s_2=0.308 \text{ m}^2$

- Δt_1 diferenta de temperatura a agentului primar la intrare (t_{11}) si iesire din vaporizator (t_{12}).

- Δt_2 diferenta de temperatura a agentului secundar la intrare (t_{22}) si iesire (t_{21}) din condensator.

Relația criterială pentru dimensionarea recuperatorului de căldură este:

$$Nu=A*Re^n*Pr^m \quad (4)$$

Unde:

$$Re = \frac{v * d}{\nu} \quad Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad Nu = \frac{\alpha * d}{\lambda} \quad \alpha = Nu * \frac{\lambda}{d}$$

Valorile coeficienților din relația criterială adoptată (A, n, m) au fost determinate in teza de doctorat „Utilizarea tuburilor termice pentru valorificarea formelor neconvenționale de energie”, autor asist.dr.ing. Andrei Burlacu, Universitatea Tehnică “Gherghe Asachi” din Iași, 2009.

Înlocuind în relația (4) se obține o ecuație de forma:

$$\frac{\alpha * d}{\lambda} = A * \left(\frac{\nu * d}{\nu} \right)^n * \left(\frac{\nu}{\alpha} \right)^m \quad (5)$$

Rezultatele obtinute experimental sunt:

- pentru vaporizator : $A_1=32.69$; $n_1=0.41$; $m_1=0.43$
- pentru condensator: $A_2=445.69$; $n_2= - 0.11$; $m_2=0.22$
- conductivitatea termica a aerului: $\lambda_{aer}=0.028$ [W/m °C]
- conductivitatea termica a apei: $\lambda_{apa}=0.663$ [W/m °C]
- vascozitatea aerului: $\nu_{aer}=35*10^{-6}$ [m²/s]
- vascozitatea apei: $\nu_{apa}=0.444*10^{-6}$ [m²/s]

Calculul coeficientului de convecție pentru aer, α_{aer} , conform datelor experimentale rezultă:

$$\alpha_{aer}=36.31; [W/m^2 \text{ } ^\circ C]$$

Coeficientului de convecție pentru apă este:

$$\alpha_{apa}=343.99. [W/m^2 \text{ } ^\circ C]$$

Înlocuind toate datele in relațiile (2), (3), din calculele experimentale rezultă:

$$Q_1=3117.8 [W] \quad Q_2=3392.55 [W]$$

Calculul volumului rezervorului

Rezervorul a fost dimensionat pentru prepararea unui volum de apă caldă de 84,78 litri, la temperatura de 40°C corespunzător necesarului specific de apă caldă de consum conform STAS 1478.

$$V = \pi * r^2 * h \quad [m^3] \quad (6)$$

Unde:

h- inaltimea rezervorului, h=1.2 m

r- raza rezervorului, r=0.15 m

$$V = 3.14 * 0.15^2 * 1.20$$

$$V = 0.08478 [m^3] = 84.78 [l]$$

Timpul necesar pentru prepararea volumului de apă caldă din rezervor s-a determinat astfel:

$$T = \frac{\rho_{apa} * V * c_{p_{apa}} * \Delta t_2}{Q_1} = \frac{1000 * 0.08478 * 4119 * 32}{3117.8} = 3584 [s] = 59.73 \text{ min} \quad (7)$$

Unde:

- ρ_{apa} - densitatea apei, $\rho_{apa}=1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$
- $c_{p_{apa}}$ - caldura specifica a apei, $c_{p_{apa}}=4119 \left[\frac{J}{kg * C^\circ} \right]$
- V – volumul rezervorului $[m^3]$
- Δt_2 -diferenta de temperatura a agentului secundar la intrare (t_{22}) si iesire (t_{21}) din condensator
- Q_1 –fluxul termic primit de la agentul primar in vaporizator, in [W]

În urma calculului a rezultat un timp de 59,73 min pentru prepararea unui volum determinat de 84,78 litri.

4. Analiză comparativă

Pentru a evidenția avantajele remarcabile ale acestui recuperator de căldură cu tuburi termice s-a realizat o analiză comparativă a sistemului prezentat cu un boiler electric de 2 kW de 80 de litri pentru prepararea apei calde la temperatură de 40°C.

Rezultatele sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1

Analiza comparativă		
	boiler electric	recuperator de căldură cu tuburi termice
capacitate	80 l	85 l
consum energie electrică	2 kW	0
pret achiziție	400 ron	1500 ron
cost exploatare/an	4380 ron	~ 0 ron

Se observă în mod evident că deși recuperatorul de căldură cu tuburi termice are un cost de achiziție mai mare față de boilerul electric, investiția inițială se amortizează foarte repede, apa caldă preparându-se practic gratuit.

Un avantaj major îl constituie faptul că la defectarea unui tub termic sistemul funcționează în continuare spre deosebire de recuperatoarele de căldură clasice care își întrerup funcționarea.

5. Concluzii

Recuperatorul de căldură cu tuburi termice conceput, reprezintă o soluție fezabilă și eficientă pentru utilizarea din plin a energiei reziduale din procesele de ardere, în vederea preparării apei calde menajere, încălzirea încălțelor cu aer sau apă caldă, preîncălzirea apei de adăos sau de alimentare la cazane, precum și a aerului de combustie.

Rezultatele obținute pot fi valorificate prin producția industrială a acestor aparate, în scopul omologării pentru utilizare în instalațiile funcționale din clădiri.

Din punct de vedere al exploatarei, recuperatoarele de căldură cu tuburi termice neavând componente în mișcare determină cheltuieli de mentenanță și utilizare reduse.

Referințe

[1] Andrei Burlacu – Teza de doctorat – UTILIZAREA TUBURILOR TERMICE PENTRU VALORIFICAREA FORMELOR NECONVENTIONALE DE ENERGIE, Iasi, 2009

- [2] Andrei Burlacu, Sorin Theodoru - THE HEAT PIPES UTILIZATION FOR HOT WATER PREPARATION, the 19th International Conference of Inventics “Research and Performant Innovative Technologies”, Iasi, 26-29 May 2007
- [3] Andrei Burlacu, Sorin Theodoru - HEAT PIPES UTILIZATION FOR HEAT TRANSFER IN SOLAR INSTALATION, Scientific Conference VSU’2007, P.III - 12-14, May 15 – May 16, Sofia, Bulgaria, 2007
- [4] Andrei Burlacu – RESEARCHES REGARDING THE EFFICIENCY OF WATER TO AIR HEAT EXHANGER WITH HEAT PIPES FOR THE MECHANICAL VENTILATION SYSTEM, P.III -56 -60, Jubilee International Scientific Conference VSU’2008, Sofia, Bulgaria, Mai 2008
- [5] Andrei Burlacu, Sorin Theodoru, THERMAL WASTE HEAT RECOVERY ACCUMULATOR FROM USED WATER INTO INDIVIDUAL HOUSEHOLD, P.III -42 -44, Jubilee International Scientific Conference VSU’2008, Sofia, Bulgaria, Mai 2008

Analiza energetică și funcțională pentru situația folosirii peleților din deșeuri de materii celulozice la cazane*

Energetical and functional analysis for the situation of shifting a boiler from sawdust pellets to cellulosic residues pellets

Nicolae Antonescu, Dan-Paul Stănescu

UTC București – Facultatea de Inginerie a Instalațiilor București,
sector2, blv. Pache Protopopescu 66, Romania
E-mail: nicuant@yahoo.com

Rezumat. Dezvoltarea sistemelor energetice mici și medii consumatoare de peleți a dus la extinderea tipologiei peleților către domeniul reziduurilor de tip celulozic cum ar fi : paie, sămburi de măsline, coji de semințe etc. Utilizarea acestora este deosebit de avantajoasă din punct de vedere energetic și aduce suplimentar o serie de avantaje pe plan ecologic. Trebuie acordată o atenție sporită particularităților ce derivă din compoziția specifică a acestor combustibili alternativi. Diferențele apar în ceea ce privește aspectul energetic al funcționării (randament și sarcină termică nominală) și în ceea ce privește aspectele funcționale (limite și condiții de reglaj). Lucrarea prezintă o analiză a trecerii unui cazan de la funcționarea cu peleți din rumeguș la funcționarea cu peleți din reziduuri de la prelucrarea maslinelor (PRPM).

Cuvinte cheie: cazane, peleți, ardere, deșeuri celulozice

Abstract. The development of small and medium-sized energy systems consuming pellets resulted in extending the field of pellets typology to cellulosic residues such as straw, olive stones, seeds, shells, etc. Their use is particularly advantageous in terms of cheap energy and by its ecological aspects. Special attention should be paid to particularities arising from the specific composition of these alternative fuels. Differences targets operating conditions such as efficiency, nominal thermal output and special requirements for functioning and maintenance. This paper analysis the transition of the operation of a boiler from sawdust pellets to pellets of residues from the processing of olives (PRPM).

Key words: boilers, pellet burning, cellulosic waste.

1. Cadru general

Dezvoltarea tot mai amplă a sistemelor energetice de mică și medie putere funcționând cu peleți a dus intrinsec și la extinderea tipologiei peleților către domeniul reciclării energetice a diverselor reziduuri de materii celulozice. Din această categorie, cele mai dezvoltate aplicații sunt pentru paie, sămburi de măsline, coji de semințe și alte deșeuri fie din agricultură, fie din prelucrarea industrială a masei vegetale.

* Lucrare inclusă în programul conferinței "Romanian Conference on Energy Performance of Buildings (RCEPB 2013)"

Utilizarea acestor sorturi de peleți este deosebit de avantajoasă din punct de vedere energetic și aduce suplimentar o serie de avantaje pe plan ecologic prin rezolvarea problemelor generate de eliminarea acestor deșeuri și prin degrevarea consumurilor de combustibil superior aferente (echivalente energetic).

Totuși, trebuie acordată o atenție sporită particularităților ce derivă din compoziția specifică a acestor combustibili alternativi, în unele cazuri destul de mult diferită față de combustibilul standard - peleți din rumeguș – pentru care sunt proiectate instalațiile. Diferențele apar atât în ceea ce privește aspectul energetic al funcționării (randament și sarcină termică nominală) cât și în ceea ce privește aspectele funcționale (limite și condiții de reglaj pentru procesul de ardere, emisii poluante, condiții de întreținere particulare etc.).

În lucrarea de față se prezintă și se analizează trecerea unui cazan de la funcționarea cu peleți din rumeguș la funcționarea cu peleți din reziduuri din prelucrarea măslinelor. Alegerea nu este întâmplătoare ci are la bază realizarea de către autori a unor seturi complete de determinări termotehnice și analiza directă funcțională pentru o astfel de situație. Determinările și observarea funcțională au fost realizate pe standul de încercări termotehnice pentru cazane și arzătoare din cadrul laboratorului INSIST (acreditat RENAR) din cadrul Facultății de Inginerie a Instalațiilor – Universitatea Tehnică de Construcții București. Activitatea de cercetare a avut la bază necesitatea concretă din partea unor producători de cazane cu peleți de a cunoaște condițiile de performanță și pe cele funcționale la utilizarea peletilor din reziduuri de prelucrare industrială a măslinelor.



Manevrarea peletilor pentru transport



Încărcarea peletilor pe nave maritime

Problematica a fost generată de existența unor piețe deosebit de dezvoltate pentru peleții din reziduuri vegetale, mai ales cele rezultate din prelucrarea măslinelor și a semințelor de floarea-soarelui, producția fiind deja la nivel industrial, unii producători ajungând chiar la livrarea cu barje maritime sau garnituri feroviare a peletilor. Țările din Europa cu astfel de realizări sunt Grecia și Spania, dar prin anvergura activității este preconizată exportarea peletilor din reziduuri vegetale pe o arie geografică vastă.

2. Situația analizată

În tabelul 1 sunt prezentate comparativ caracteristicile de compoziție și termice ale peleților din reziduuri de la prelucrarea industrială a măslinelor (numiți în continuare **PRPM**) și ale peleților din rumeguș.

O primă observație se referă la conținutul de cenușă, de cca. 5 ori mai mare la PRPM decât la peleții din rumeguș.

Un prim efect al acestei situații este necesitatea stabilirii unui program diferit (cu intervale mult reduse) pentru curățirea arzătoarelor și a cazanelor în cazul trecerii de la funcționarea cu masă lemnoasă la PRPM. În paralel, dacă tehnologia de ardere este caracterizată de viteze de circulație ale aerului primar susceptibile să antreneze cenușile (care în general se prezintă sub forma geometrică inițială a peleților), se vor considera proporțional mai mari (ordinul de cinci ori) antrenările de cenușă volantă, cu efect la nivelul depunerilor pe suprafețele convective ale cazanului și în zonele de întoarcere ale gazelor de ardere și cu efect la nivelul concentrației de particule în gazele de ardere la coș.

Tabel 1

Comparație între PRPM și peleții din rumeguș

	Unitate	Peleti din reziduurile de prelucrare a maslinelor			Peleti din lemn cu conținut redus de cenușă		
		Vrac	Masa uscata	Masa uscata fara cenusi	Brut	Pentru uz domestic	Masa uscata
Umiditate	%	10,0	-	-	7,35	3	-
Cenușă	%	5,20	5,79	-	0,95	0,99	1,03
Carbon	%	44,9	49,9	53,0	46,5	48,7	50,2
Hydrogen	%	5,71	6,34	6,74	6,0	6,28	6,48
Sulf	%	0,08	0,09	0,10	0,02	0,021	0,022
Azot	%	0,80	0,88	0,94	0,6	0,63	0,65
Oxygen	%	33,3	37,0	39,2	38,6	40,4	41,6
Volatile	%	66,4	73,8	78,3	75,8	79,4	81,8
Carbon fix	%	18,4	20,4	21,7	15,9	16,6	17,2
Putere calorică inferioară	KCal/kg	3858	4352	-	4084	4303	4454
	MJ/kg	16153	18220	-	17100	18017	18650

Un alt element de care trebuie să se țină cont este punctul de fuzibilitate al cenușilor, sensibil mai scăzut pentru cenușile din PRPM decât pentru cele din lemn.

Scăderea temperaturii de topire de la cca. 1250 °C pentru lemn la cca. 1000 °C pentru PRPM duce la apariția pericolului de zgurificare la nivelul grătarului. Cum

atingerea pragului de 1000 °C la arderea pe grătar a carbonului fix nu se poate evita cu tehnologia de ardere folosită la cazanele mici și medii (grătare de tip cuvă cu alimentare prin cădere sau grătare tip Stocker) rezultă necesitatea stabilirii unui program special de curățire a zgurilor pentru situația folosirii PRPM.

Analiza elementară arată un conținut practic egal de carbon și hidrogen la peleții din rumeguș și PRPM dar, pe de o parte datorită conținutului ridicat de uleiuri volatile grele în PRPM și pe de altă parte datorită diferenței de conținut în oxigen, se observă o diferență sensibilă în ceea ce privește conținutul de volatile. Astfel, conținutul de volatile raportat la masa uscată este cu cca. 8 % mai mare în cazul peletilor din rumeguș și ajunge la un plus de 13 % pentru cazul real (masă cu umiditate) de utilizare a peletilor din rumeguș de uz domestic față de PRPM vrac.

Aspectul duce la concluzia că dacă volumul camerei de ardere este satisfăcător pentru fuționarea cu peleți din rumeguș, acesta va fi suficient și la funcționarea cu PRPM. Concluzia trebuie însă nuanțată, deoarece pe de o parte speciile de volatile nu sunt identice între cei doi combustibili și pe de altă parte, debitele de combustibil nu sunt egale dacă se dorește menținerea puterii termice la arzător.

Deoarece conținutul de carbon fix variază puțin (sub 10 % variație relativă între valorile caracteristice) și puterile calorice sunt de asemenea apropiate (variație de cca. 5 % la masa de combustibil brut) se poate trage concluzia că, cel puțin la nivel teoretic, debitul caloric la nivelul arderii primare (dat de limita de încărcare de ardere a carbonului fix la nivelul grătarului arzătorului) se poate menține la trecerea unui arzător de la funcționarea cu peleți din rumeguș din lemn la funcționarea cu PRPM.

Corelând cele două aspecte, cel referitor la încărcarea grătarului (dat de considerațiile referitoare la conținutul de carbon fix și putere calorică) și cel referitor la camera de ardere (dat de analiza conținutului în volatile) rezultă că trecerea funcționării unui cazan de la funcționarea cu peleți din rumeguș la funcționarea cu PRPM este posibilă fără afectarea debitului caloric (adică a sarcii termice dată de debitul de combustibil).

Totuși, după cum se va arăta în analiza de caz, situația reală poate fi diferită în situația în care capacitatea de menținere a calității arderii la înlocuirea peletilor din rumeguș cu PRPM nu este satisfăcută de construcția grătarului (dacă apar probleme legate de zgurificarea cenușilor).

În tabelul 2 sunt prezentate două varietăți de materii biogenice rezultate de asemenea din procesarea industrială a măslinelor și anume praf din sămburi de măline și mărunț amestecat de sămburi și pulpă (sub formă de turte sau sub formă de granule uscate).

Legat de caracteristicile de compoziție se poate observa o variație importantă a conținutului de cenușă, de la valori comparabile cu cele ale rumegușului (cca. 1 %) până la cele specifice PRPM (cca. 5 %).

În ceea ce privește însă conținutul de materii combustibile (carbon și hidrogen) și rapoartele carbon/hidrogen și carbon/oxigen, acestea se încadrează în domeniul

Analiza energetică și funcțională pentru situația folosirii peleților din deșeuri de materii celulozice la cazane caracteristic PRPM, considerațiile sub aspect termotehnic fiind deci aplicabile de la PRPM la aceste varietăți.

Tabel 2

Varietăți de material biogenic rezultat din prelucrarea industrială a măslinelor

	Unitate	Samburi de masline sfaramati (praf)		Marunt din reziduuri de la prelucrarea maslinelor	
		In vrac	Raportat la masa anhidra	In vrac	Raportat la masa anhidra
Umiditate	%	12,2	-	13,3	-
Continut de cenusa	%	0,75	0,86	3,35	3,86
Sulf	%	0,009	0,010	0,16	0,19
Carbon	%	42,7	48,7	40,2	46,4
Hidrogen	%	5,8	6,6	4,9	5,7
Oxygen	%	38,5	43,8	37,5	43,2
Putere calorica inferioara	kcal/kg	3920	4587	3777	4439
	MJ/kg	16415	19207	15810	18580

Totuși, în cazul utilizării combustibililor prezentați în tabelul 2 sau similari, nu trebuie ignorat un element cheie pentru procesul termic și anume tehnologia de ardere. Aceasta este diferită de arderea peleților, fiind obligatoriu cu antrenarea materialului biogenic (praf sau mărunț) cu ajutorul aerului de ardere (transport hidraulic, asemenea instalațiilor de ardere a prafului de cărbune). În concluzie, nu mai există limitările și problemele funcționale, legate mai ales de zgurificare, pe care le dau la arderea pe grătar PRPM față de peleții din rumeguș.

Alte materiale biogenice des utilizate energetic la puteri mici și medii sunt peleții din coji de floarea-soarelui și făina din sâmburi de struguri. La ambele varietăți conținutul de cenușă este de cca. 3,5 % la masa uscată iar conținutul de volatile se situează în jurul valorii de 60 %. Puterea calorică pentru peleții din coji de floarea-soarelui este de cca. 4500 kcal/kg la o umiditate a combustibilului de cca. 10 % iar pentru făina din sâmburi de struguri puterea calorică este de cca. 3850 kcal/kg la o umiditate vrac de 15 %.

Concluzia este că (pentru combustibilii alternativi peletizați) sistemele de ardere pentru peleți din rumeguș pot funcționa și cu peleți din coji de floarea-soarelui, singura atenționare fiind legată de puterea calorică mai mare a acestora, ceea ce poate genera

încărcări termice la nivelul grătarului cu efect negativ asupra durabilității materialului de grătar și a elementelor anexe șamotate.

În ceea ce privește folosirea făinii din sâmburi de struguri în instalațiile de ardere a prafului de sâmburi de măsline sau a mărunțului din prelucrarea măslinelor (tot de tip făină după procesarea cu uscare și sfărâmare), nu sunt probleme din punct de vedere termic, singura verificare necesară fiind legată de compatibilitatea sistemului de antrenare (transport) cu aer de ardere (trebuie verificat raportul de antrenare aer - praf de combustibil sau setarea sistemului de dozaj a prafului de combustibil în aerul de ardere).

3. Determinări experimentale

În urma experimentării funcționale a unui cazan cu arzător de peleți tip Stocker (alimentare la bază a unui grătar conic) la trecerea funcționării de la peleți din rumeguș la PRPM, s-au obținut valorile generale de performanță prezentate în tabelul 3.

Tabelul 3

Caracteristici funcționale la trecerea de la peleți din rumeguș la PRPM

CAZANUL MASURAT			ARZATOR CU PELETI TIP GRATAR CONIC			
COMBUSTIBIL PELETI			LEMN		SAMBURI MASLINE	
REGIMUL			NOMINAL	REDUS	NOMINAL	REDUS
	notatie	u.m.				
Temp.apa intrare cazan medie pe ciclu	t_{apa}	C	69,2	61,4	65,5	75,2
Temp.apa iesire cazan medie pe ciclu	t_{apae}	C	89,3	81,0	82,4	86,6
Umiditate combustibil	W	%	3	3	3	3
Putere calorica la masa uscata	H_i	kJ/kg	18700	18700	16400	16400
Putere calorica	H_i	kJ/kg	18066	18066	15835	15835
	H_{ikcal}	kcal/kg	4316	4316	3783	3783
Randamentul cazanului	η_{dir}	%	83,86	83,16	78,30	72,19
Sarcina termica utila	Q_{ut}	kW	61,45	36,31	49,95	24,93

Observația primară este legată de scăderea importantă de randament, cu cca. 6 % la regim nominal și cu cca. 11 % la regim redus, în condițiile în care sarcina nominală a scăzut cu cca. 20 % iar cea redusă cu cca. 30 %.

Sarcina termică nominală la funcționarea cu PRPM a fost determinată prin stabilirea debitului caloric maxim (putere termică la arzător) la care se poate asigura o calitate a arderii suficient de bună pentru încadrarea cazanului în limitele admise legal (12500 ppm CO la 10 % O₂).

Tabelul 4

**Determinarea indirectă a caracteristicilor de performanță ale unui cazan
la funcționarea cu peleți din rumeguș și cu PRPM**

APARAT MASURAT			ARZATOR CU PELETI TIP GRATAR CONIC			
Combustibil : PELETI			RUMEGUS LEMN		SAMBURI MASLINE	
Regimul			NOMI - NAL	REDUS	NOMI - NAL	REDUS
	<i>Notatie</i>	<i>u.m.</i>				
Temperatura la cos	T_{cos}	C	256	224	219	181
Temperatura aerului ambiant	T_{aer}	C	20	20	20	20
Analiza gazelor la cos	O_2	%	9,6	11,8	12,7	15,4
Continut de CO la 10% O ₂	CO	ppm	442	327	7517	10172
Analiza gazelor la cos	NO_x	mg/mc	94	70	141	124
Exces de aer	$Exces\ aer$	-	1,84	2,27	2,53	3,77
Sarcina termica la arzator (Debit caloric)	Q_{comb}	kW	73,3	42,9	63,8	35,6
		kcal/h	62998	36893	54840	30635
Volum specific de gaze de ardere	V_g	Nmc/kg	8,33	10,10	9,78	14,27
Pierderi specifice prin entalpia gazelor la cos	q_{cos}	%	14,90	15,39	16,50	18,99
Pierderi specifice prin ardere incompleta mecanica	$q_{inc.m}$	%	0,05	0,05	0,74	0,74
Pierderi specifice prin ardere incompleta chimica	$q_{inc.c}$	%	0,25	0,18	4,14	5,54
Pierderi specifice prin suprafetele exterioare	q_{ext}	%	0,82	1,05	0,71	0,98
Randamentul - bilant indirect $\eta_{ind} = 100 - q_{cos} - q_{inc.m} - q_{inc.c} - q_{ext}$	η_{ind}	%	83,99	83,34	77,92	73,74
Puterea utila - bilant indirect $P_{ut} = \eta_{ind} \cdot Q_{comb}$	P_{ut}	kW	61,54	35,76	49,69	26,27

Analizând funcționarea cazanului, atât la regim nominal cât și la regim minim, în cele două situații de alimentare, s-au evidențiat în tabelul 4 două cauze primare ale scăderii de randament și anume:

a. Creșterea excesului de aer necesar pentru menținerea calității arderii în limite acceptabile de la 1,84 la 2,53 în regim nominal și de la 2,27 la 3,77 pentru regimul minim; creșterea a fost necesară deoarece grătarul nu poate evita inerentele zgurificări la funcționarea cu PRPM iar zona de insuflare a aerului secundar devine insuficient de puternică pentru a compensa modificarea de calitate a volatilelor (fără o

creștere a debitului de aer). Creșterea de exces de aer a dus la creșterea pierderilor specifice prin entalpia gazelor de ardere la coș cu 1,5 % până la 3,5 % în funcție de regimul de lucru al cazanului.

b. Creșterea conținutului relativ de CO (raportat la 10 % O₂ în gazele de ardere) de la ordinul sutelor la funcționarea cu rumeguș la ordinul miilor la funcționarea cu PRPM (datorită acelorași probleme de introducere de aer care au determinat și scăderea de sarcină termică) a dus la creșterea cu 4 % până la 5 % a pierderilor specifice prin ardere incompletă de natură chimică.

4. Concluzii

1. Determinarea valorilor de reglaj (funcționare schneck și ventilator de aer de ardere) pentru obținerea puterii maxime a cazanului s-a făcut astfel încât, la această sarcină termică, emisiile poluante să se încadreze în limite acceptabile. Limitarea a fost dată de modul de introducere al aerului primar și secundar la arzătoarele tip pâlnie și de caracteristica de zgurificare a PRPM comparativ cu peleți din rumeguș. Dacă trecerea se face la un cazan cu grătar cu împingere sau răscolire și dacă există posibilitatea reglării separate a debitelor de aer de ardere primar și secundar, ținând cont de considerțiile referitoare la caracteristicile termotehnice și de ardere ale celor doi combustibili (vezi tabel 1 și comentariile aferente) se poate presupune că s-ar putea menține și sarcina termică și calitatea arderii la trecerea de la peleți din rumeguș la PRPM sau alți combustibili similari din deșeuri vegetale.

2. Chiar și în cazul unui arzător cu răscolire, dar mai ales la arzătoarele cu grătar fix, zgurificarea la funcționarea cu PRPM este inevitabilă datorită conținutului mare de cenuși și temperaturilor de topire și înmuiere reduse (sub 1000 °C), ceea ce determină impunerea unor intervale de curățire mult reduse (de 4 până la 8 ori) față de funcționarea cu peleți din rumeguș.

3. La cazanele mici și medii cu arzătoare prevăzute cu grătare fixe (fără răscolire sau descărcare forțată de cenuși) și cu raport funcțional fix între aerul primar și cel secundar, dat de geometria grătarului și a anexelor acestuia (camere de presiune, sisteme de distribuție, etc.), se poate trece de la funcționarea cu peleți din rumeguș la funcționarea cu PRPM (peleți) în următoarele condiții:

- a. scăderea sarcinii nominale cu cca. 20 %;
- b. creșterea excesului de aer până la valori de ordinul 2,5;
- c. nivel de emisii poluante la limita superioară a domeniului admisibil;
- d. scăderea randamentului cu cca. 5 %;
- e. scăderea intervalului de curățire la ordinul orelor de funcționare.

4. Utilizarea PRPM ca alternativă de combustibil ieftin în locul peletilor din rumeguș este posibilă, fie cu precauțiile prezentate anterior la arzătoarele cu grătar fix, fie fără modificări funcționale și de performanță în cazul sistemelor mari, cu răscolire, descărcare de cenuși și dozare separată de aer primar, secundar și uneori chiar terțiar.

Analiza unor aspecte noi privind concepția și dimensionarea instalațiilor de preparare apă caldă de consum*

New aspects concerning the design and dimensionning of the hot water preparation systems

Mihnea Sandu, Nicolae N. Antonescu, Daniela Teodorescu

Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti. B-dul Pache

Protopopescu nr 66, Bucuresti, Romania

E-mail: mihneasandu2010@gmail.com

Rezumat. *O etapă importantă în cadrul activității de proiectare a instalațiilor sanitare o constituie alegerea și dimensionarea echipamentelor pentru producerea apei calde menajere. În prezent, marea majoritate a proiectanților folosesc metode care în general sunt concepute pentru clădiri mari sau pentru ansambluri de clădiri. De asemenea aceste metode de dimensionare sunt în mod evident dependente de echipamentele existente pe piață la acea vreme. Acestea sunt motivele pentru care aplicarea lor în proiectarea actuală se face uneori cu rezultate îndoielnice și poate conduce la supradimensionarea instalațiilor cu repercusiuni imediate în creșterea valorii de investiție sau a consumurilor energetice. Autorii acestui articol își propun identificarea aspectelor și fenomenelor care apar în astfel de instalații și care nu sunt considerate în metodologia actuală de proiectare și dimensionare. Articolul prezintă și o serie întreagă de perspective și direcții ulterioare de cercetare, fiind evidentă necesitatea de dezvoltare a acestor metode și implementarea lor în cadrul normativelor și standardelor de proiectare.*

Cuvinte cheie: apă caldă de consum, proiectare, dimensionare, boilere

Abstract. *A very important step in sanitary systems conception is represented by the choice and the dimensionning of the water heater equipments. The methodologies used by most of the building systems engineers are old, suitable for large buildings areas and not in accordance with the newest concepts regarding the energy efficiency. The authors aim in this paper to describe a sum of problems and discrepancies that may occur when conceiving a hot water preparation system by actual standards.*

Key words: hot water, dimensioning

1. Introducere

La ora actuală, normativele și metodele utilizate pentru dimensionarea instalațiilor de preparare apă caldă de consum în România sunt foarte vechi și sunt concepute în principal pentru schemele de preparare centralizată ce deservește clădiri

* Lucrare inclusă în programul conferinței "Romanian Conference on Energy Performance of Buildings (RCEPB 2013)"

mari sau ansambluri de clădiri. Ele sunt greu aplicabile în cazul clădirilor de dimensiuni mai reduse, acesta fiind motivul pentru care, în multe cazuri, inginerii proiectanți folosesc metode de dimensionare mai mult sau mai puțin empirice, mult mai simple, pentru alegerea echipamentelor de preparare apă caldă de consum (ACC).

În cazul instalațiilor de preparare ACC cu acumulare se merge deseori în practică pe ideea supradimensionării (în lipsa unor metode clare și ușor aplicabile de dimensionare) pentru a fi siguri că utilizatorii implicați nu rămân niciodată fără apă caldă. Rezultă echipamente mari, care necesită costuri mari de investiție și ale căror consumuri energetice nu se înscriu nici pe departe în politicile actuale de eficiență energetică a construcțiilor.

Acestea sunt principalele motive pentru care lucrarea de față semnalează necesitatea adoptării unor metode recunoscute oficial în domeniu pentru dimensionarea instalațiilor de preparare ACC, metode care să fie clare, aplicabile tipurilor de clădiri care se construiesc în prezent, care să fie în concordanță cu caracteristicile tehnice actuale ale echipamentelor de preparare apă caldă de consum și cu principiile eficienței energetice.

2. Situația actuală

Analiza prezentată în această lucrare se va concentra pe instalațiile de preparare ACC în regim de acumulare pentru a identifica aspectele care ar trebui modificate în viziunea autorilor.

Analizând sintetic „Normativul pentru proiectarea și executarea instalațiilor sanitare I9 – 1994”, Standardul STAS 1478 – 90 – „Alimentarea cu apă la construcții civile și industriale” precum și alte câteva dintre lucrările de referință în domeniu cum ar fi în ordine cronologică „Instalații sanitare pentru ansambluri de clădiri” autor Liviu Dumitrescu, „Instalații sanitare și de gaze”, autor Stefan Vintilă ș.a. sau ultima ediție a „Enciclopediei tehnice de instalații” – Manualul de Sanitare, elaborat de un colectiv numeros sub coordonarea prof. Stefan Vintilă rezultă următoarele idei demne de luat în seamă în demersul nostru:

- Normativele și standardele din țara noastră nu prezintă o metodologie clară și completă pentru dimensionarea instalațiilor de preparare ACC;
- Metodele de dimensionare prezentate în lucrările menționate mai sus sunt concepute în principal pentru ansambluri de clădiri;
- Calculul necesarului de apă caldă care stă la baza dimensionării echipamentelor pornește de la cunoașterea cronogramelor de consum, un lucru adesea anevoios în practică;
- Sunt prezentate metode de dimensionare grafice, anevoiase în practică;
- Boilerele sau rezervoarele de acumulare fără serpentină se dimensionează în funcție de căldura transmisă în regim de acumulare și nu se ține cont de sarcina termică instalată sau de căldura transmisă în regim de recuperare (în cazul boilerelor); acest aspect poate chiar să dea naștere la confuzii în proiectare deoarece se găsesc pe piață boilere de volume egale și sarcini instalate diferite;

- Nu există nici o legătură între cerințele care apar în cadrul metodelor de dimensionare și performanțe caracteristice echipamentelor, performanțe cerute prin standardele de încercări;

Există deci suficiente motive pentru a justifica reanalizarea acestor metode și pentru a le particulariza mai mult în funcție de mărimea și destinația clădirilor deservite.

3. Considerații tehnice

3.1. În cadrul normativelor de dimensionare sau verificare a instalațiilor de preparare a.c.m. cu acumulare se propune unificarea terminologiei cu standardele de profil din domeniul încercării aparatelor termice prevăzute cu funcție de preparare a.c.m.

Dintre acestea amintim ca esențiale:

- *balon* : reprezintă volumul de stocare al a.c.m. , inclusiv volumul ce cuprinde suprafață de transfer de căldură;
- *stocaj termic* : descrie rezerva de căldură din volumul cazanului sau din acumulatorii de căldură ale cazanului (puffere) ce se poate utiliza direct în instalația de încălzire, sau, prin intermediul unei suprafețe de transfer de căldură, la prepararea de a.c.m.;
- *debit specific* : reprezintă o caracteristică generală a preparatoarelor de a.c.m. și definește în sistem unitar și comparabil (între diversele soluții de preparare a.c.m.) performanța de livrare a.c.m. a unui sistem către beneficiar; astfel, conform standardelor de testare și certificare a aplicațiilor consumatoare de combustibili prevăzute cu funcția de preparare a.c.m., acest debit se definește:

$$D_i = \frac{m_{i(10)}}{10} \cdot \frac{\Delta t}{30} \left[\frac{l}{\text{min}} \right] \quad (1)$$

unde : - D_i reprezintă debitul specific, D_1 și D_2 determinate la prima livrare (după terminarea completării rezervei de apă caldă – oprirea arzătorului cazanului sau a pompei de circulație agent primar în schimbătorul de preparare a.c.m.), respectiv la a doua livrare (la 20 minute după terminarea primei livrări), exprimată în litri pe minut;

$m_{i(10)}$ reprezintă cantitatea de apă colectată la prima și respectiv la a doua livrare, exprimată în litri iar Δt reprezintă creșterea de temperatură medie efectivă a apei colectate, exprimată în grade;

la determinarea experimentală a debitului specific se va încerca menținerea diferenței absolute între D_1 și D_2 sub 10%.

Se observă deci că valoarea debitului specific este de fapt măsura termică a capacității de livrare a.c.m. a unui sistem de preparare, considerând ca referință o diferență de temperatură între apa rece și cea preparată de 30 °C (caz în care valoarea reprezintă realitatea numerică a debitului de a.c.m.). Mărimea caracterizează unitar toate sistemele de preparare a.c.m. de la cele de tip “instantaneu” la cele cu “preparare instantanee neglijabilă”;

- *debit caloric nominal menajer* : valoarea debitului caloric (nominal), exprimat în kilowatt, în mod (regim) de funcționare menajer a cazanului sau instalației de preparare a.c.m. (cu sau fără stocare).

3.2. Conform standardului, pierderile de căldură ale sistemului de preparare a.c.m. se limitează astfel :

$$q_p \leq 0,014 \cdot V^{2/3} + 0,02 \cdot Q_{nw} \quad (2)$$

unde : q_p reprezintă pierderile cazanului și ale balonului, exprimate în kW;
 V reprezintă capacitatea balonului (cuprinde și apa din schimbătorul incorporat) și/sau a stocajului termic (dacă există), exprimată în litri;
 Q_{nw} este debitul caloric (puterea termică dată de combustibil la arzător) nominal al cazanului în mod de funcționare menajer, exprimat în kilowatt.

Această limitare trebuie înțeleasă ca o grijă pentru respectarea performanței de randament, astfel ca pierderile de căldură ale stocajului să nu fie prea mari datorită unei supradimensionări a acestuia, varianta de preparare combinată “instantaneu” și cu acumulare fiind recomandabilă. După cum se va arăta în continuare, se urmărește optimizarea raportului dintre sarcina termică instalată (dată de capacitatea de preparare în flux a a.c.m.) și capacitatea termică acumulată.

Astfel, pentru limitarea numărului de porniri pe un cilu de timp (zi, săptămână, etc.) a instalației de preparare și pentru asigurarea unui confort ridicat al utilizatorului în condiții de asigurare foarte bune, tendința este de supradimensionare a rezervei de a.c.m. în detrimentul preparării în flux (în regim permanent, preparator denumit și “instantaneu”).

Pe de altă parte, din punct de vedere al sursei de preparare a agentului termic primar (indiferent dacă acesta este reprezentat direct de gaze de ardere sau este apă caldă de încălzire) , apar pierderile specifice perioadelor de staționare, pierderi care au o pondere cu atât mai mare în ciclul de lucru cu cât raportul dintre perioadele de staționare și cele de funcționare este mai mare. Din acest punct de vedere, tendința este

de scădere a volumului de acumulare, varianta ideală fiind cea cu funcționare cu maximă continuitate, modulată, cu sistem de preparare a.c.m. în flux.

În final, armonizarea celor două tendințe se face prin calcul economic, urmărindu-se minimizarea sumei dintre investiția anuală inițială (raportul dintre investiția totală și numărul de ani de funcționare) și costurile anuale de exploatare pentru ansamblul instalației de preparare a.c.m. cu toate componentele sale: sursă, transport, transfer, stocaj și automatizare.

Pe de altă parte, determinarea și declararea pierderilor de căldură și încadrarea acestora în condiția anterioară, este sarcina producătorilor de sisteme sau sub-sisteme de preparare a.c.m., astfel că mărimea se află la dispoziția proiectanților care pot face astfel studii comparative tehnico-economice în vederea optimizării sistemului de preparare a.c.m. în raport cu specificațiile și particularitățile utilizatorului avut în vedere.

3.3. Într-o proiectare corectă trebuie avute în vedere cel puțin două corelații deosebit de importante în caracterizarea funcțională a sistemelor de preparare a.c.m.:

- corelația între *debitul specific* al sistemului de preparare a.c.m. și debitul maxim consumat de utilizator;
- corelația între cantitatea de căldură consumată sub formă de a.c.m. de către utilizator pe perioadele când pauzele de consum nu permit refacerea completă a rezervei (după refacerea completă a rezervei situația repornește energetic “de la zero”) și suma cantităților de căldură stocate sub formă de a.c.m. și posibil de a fi transferate a.c.m. prin preparatoarele în flux (inclusiv serpentinele imersate în volumele de acumulare ale boilerelor) pe perioadele de livrare plus pauzele între livrări (mai mici decât timpul de refacere a rezervei).

3.4. Din perspectiva optimizării raportului dintre puterea termică de preparare a.c.m. pentru refacerea rezervei și volumele de stocare a.c.m., trebuie avut în vedere aspectul sarcinii termice necesare la sursa de căldură.

Dacă se consideră, așa cum se întâmplă pentru marea majoritate a sistemelor de preparare a.c.m., că pe perioada de refacere a rezervei sistemul de încălzire nu este alimentat, rezultă că pentru fiecare situație de proiectare se pot defini următoarele faze cu fluxurile de căldură aferente:

- faza de refacere a rezervei de a.c.m. care durează cu atât mai mult (pentru un volum de acumulare dat) cu cât sarcina de producere în flux a.c.m. (serpentine sau schimbătoare) este mai mică;
$$q_{acm} \downarrow \Rightarrow \tau_{refacere\ acm} \uparrow$$
- faza de compensare a inerției termice a clădirii (pentru care trebuie stabilit un interval) în care sursa trebuie dimensionată să poată acoperi atât pierderile de regim permanent ale anvelopei cât și fluxurile de compensare a capacităților calorice ce trebuiesc refăcute;

La un timp de refacere a inerției termice stabilit și fix pentru o anumită aplicație rezultă : $\tau_{\text{refacere acm}} \uparrow \Rightarrow q_{\text{compensare inertie termica clădire}} \uparrow$

În ansamblu $q_{\text{sursă}} = \max \left\{ \begin{matrix} q_{\text{compensare}} + q_{\text{ext}} \\ q_{\text{acm}} \end{matrix} \right\}$ și se optimizează din punct de vedere al dimensionării sursei prin minimizare (dar cu respectarea condițiilor de confort atât pe plan termic - mediul din incintele deservite - cât și în ceea ce privește livrarea de a.c.m.

4. Concluzii

Autorii acestui articol și-au propus numai prezentarea sintetică a unor aspecte privind concepția și dimensionarea instalațiilor de apă caldă de consum. Concluzia principală care se impune este că la ora actuală, la noi în țară nu există o metodologie clară, bine pusă la punct care să satisfacă cerințele clădirilor actuale. Aceasta trebuie realizată pornind de la cerințele reale ale clădirilor existente, ținând seama de performanțele actuale ale echipamentelor și de principiile eficienței energetice.

De asemenea, este necesară corelarea terminologiei între domeniul de proiectare al instalațiilor de preparare apă caldă de consum și domeniul de proiectare și testare aparate termice.

Nu în ultimul rând, noile normative vor trebui să diferențieze metodele de proiectare în funcție de parametrii cum ar fi : caracteristicile de transfer de căldură ale boilerelor atât la funcționarea cu acumulare cât și la funcționarea în flux, caracteristicile sistemelor de automatizare pentru sistemul de preparare acm și eventualele restricții generate de integrarea în ansamblul de gestiune energetică a utilizatorului și, foarte important, folosirea surselor multiple (neconvenționale, recuperate, de joasă temperatură, alternative, optimizate după programul orar, etc.) la prepararea acm.

Referințe

- [1] Gerd Bohm, 1997, Alegerea și utilizarea cazanelor de încălzire și acumulatorilor de apă caldă, Karl Kramer Verlag Stuttgart + Zurich
- [2] Dumitrescu L., Vintila St., s.a., 2010, Enciclopedia tehnică de instalații, Manualul de sanitare, ed. Artecno
- [3] I9 – 1994 - Normativ pentru proiectarea și executarea instalațiilor sanitare.
- [4] SR – EN625:2001 – Cazane de încălzire centrală care utilizează combustibili gazoși. Condiții specifice funcției de apă caldă menajeră ale cazanelor cu două servicii, cu debit caloric nominal mai mic sau egal cu 70 kW.

Aspecte specifice în cazul analizei higrotermice a fațadelor la clădirile din panouri mari*

Specific aspects of the large panel facades hygrothermal analyses

Mihaela Stela Georgescu¹, Irina Bliuc², Viorica Demir³

¹Universitatea de Arhitectură și Urbanism Ion Mincu București – UAUIM
Str. Academiei nr. 18-20, sector 1, București, Romania
E-mail: mihaelastela.georgescu@yahoo.com

²Universitatea Tehnică Gh. Asachi Iasi, Romania
E-mail: irina.bliuc@yahoo.com,

³Universitatea Tehnică de Construcții București
Bdul Lacul Tei nr. 122-124, sector 2, Romania
E-mail: vioricademir@yahoo.com,

Rezumat. Clădirile din panouri mari reprezintă un procent important din fondul existent de locuințe din România, supus în prezent acțiunilor de modernizare energetică. Evaluarea cât mai exactă a performanței termice a anvelopei clădirilor are o importanță deosebită în emiterea unor certificate de performanță energetică corecte. La acest tip de clădiri, fațadele se caracterizează printr-un procent mare de punți termice, nu numai în zona îmbinărilor, dar și în câmp curent – punți termice impuse, în această zonă, de diversele tehnologii de fabricare a panourilor pentru pereții exteriori. Pe baza unui studiu de caz reprezentativ, lucrarea își propune să atragă atenția asupra unor aspecte specifice care trebuie avute în vedere la calculul rezistențelor termice corectate.

Cuvinte cheie: punți termice, panouri mari, analiza higrotermică.

Abstract. Large panel buildings represent a huge percent of the residential buildings in Romania, being now under thermal rehabilitation modernization. In order to have as possible correct assesment and certificates of energy performances, it is necessary to evaluate exactly the influence of thermal bridges not only at joints but also in the internal area of the prefabricated panels; their technology has changed during the years in order to decrease their percentage. The paper presents a representative case study, highlighting the relevant aspects which we must have in attention when the corrected thermal resistances are calculated.

Key words: thermal bridges, large panels, hygrothermal analysis.

* Lucrare inclusă în programul conferinței "Romanian Conference on Energy Performance of Buildings (RCEPB 2013)"

1. Introducere

Panourile mari prefabricate din beton armat, ca soluție constructivă, apar cu o frecvență foarte mare în cadrul fondului existent de locuințe colective, atât ca elemente componente în structuri integral prefabricate cât și ca elemente de închidere la structuri din pereți structurali sau cadre din beton armat monolit sau sistem dual. Mai mult de 60 % din totalul locuințelor executate în România în blocuri, au structura integral prefabricată.

Din punct de vedere higrotermic, aceasta soluție se caracterizează printr-un nivel scăzut de protecție termică – corespunzător cerințelor impuse de reglementările tehnice în vigoare în momentul proiectării lor dar insuficiente în raport cu cerințele actuale - determinat mai ales de ponderea importantă cu care intervin punțile termice generate de nervuri și îmbinări.

Influența punților termice asupra performanței energetice a clădirii atât în starea inițială cât și după reabilitare este semnificativă datorită numărului acestora, dar și suprapunerii de efecte a două punți termice vecine, apropiate.

Experiența acumulată în ultimii 50 de ani, atât în proiectarea antiseismică cât și în conformarea și evaluarea higrotermică, precum și utilizarea rezultatelor experimentărilor s-au concretizat în progresul continuu al structurilor din panouri mari prevăzute cu îmbinări cu un grad ridicat de siguranță dar și cu o evoluție continuă pentru realizarea unui procent tot mai mic de punți termice pe conturul panourilor, al golurilor de fereastră și al nervurilor din câmp curent.

Având în vedere nivelul inițial de protecție termică redus, asociat cu frecvente fenomene de condens superficial, clădirile în a căror alcătuire intră panourile mari sunt incluse cu prioritate în programele de reabilitare/eficientizare energetică.

Evaluarea corectă a performanței energetice înainte și după reabilitare, implică luarea în considerare a unor valori cât mai exacte ale coeficienților liniari de transfer termic Ψ , diferențiați pentru diferite tipuri de îmbinări și alcătuiți constructive specifice proiectelor tip cu frecvență mare de aplicare.

De mare importanță pentru auditorii energetici este cunoșterea caracteristicilor diverselor generații de prefabricate pentru fațadele clădirilor și prin aceasta identificarea corectă a datelor culese în cadrul investigării in-situ a clădirilor analizate.

În evoluția construcțiilor de locuințe din panouri mari din România se pot evidenția câteva tipuri, care sunt descrise pe scurt în cele ce urmează.

2. Scurt istoric. Evoluția sistemelor de realizare a clădirilor de locuit din panouri mari prefabricate

În anul 1956 s-a proiectat și executat prima clădire de locuit din panouri mari prefabricate, cu caracter experimental - blocul cu P+3E din București, șos. Giurgiului. Inițiativa executării acestui bloc experimental a aparținut Ministerului Construcțiilor, iar proiectarea - începută în noiembrie 1995 - a fost realizată în cadrul Sectorului de tipizare din IPC, care a constituit nucleul Institutului de Proiectare pentru Construcții Tipizate înființat în 1956. Pereții structurali ai clădirii s-au executat din beton cu zgură

expandată, pereții interiori având 20 cm grosime, iar cei exteriori 32 cm grosime; planșeele - de dimensiunile unei celule constructive - au fost de tipul “cu goluri rotunde”, de 15 cm grosime.

O nouă clădire experimentală, cu P+4E, s-a executat în același cartier, în 1959; la această clădire pereții interiori s-au realizat din beton obișnuit de 12 și 14 cm grosime, iar pereții exteriori, din beton de granolit, în grosime de 28 cm; planșeele, rezemate pe contur, au fost realizate din panouri pline de 9 cm grosime.

În anii 1959-1962 s-au realizat primele ansambluri de locuințe cu P+4E din panouri mari: ansamblul Steagul Roșu - Brașov (între 1959 și 1961 s-au realizat cca 2000 apartamente, conform proiectului nr. 3017) și cartierul Nicolina Iași (între 1960 și 1962 s-au realizat cca 2500 apart., conform proiectului nr. 4117).

În anul 1962 s-a elaborat prima serie de proiecte tip de clădiri de locuit cu P+4 etaje din panouri mari – seria din proiectul nr. 1013 - completată ulterior cu seria din proiectul nr. 1168. Pe baza acestor proiecte, s-au executat în perioada 1963-1970 peste 40.000 apartamente în diverse localități din țară, precum și în municipiul București.

În anul 1971 s-au proiectat și au intrat în producție seriile de clădiri cuprinse în proiectele nr. 1615 și nr. 744, iar în anul 1977 - seria de foarte largă utilizare – din proiectul nr. 770, cuprinzând un număr de 12 secțiuni tip, cu variante pentru utilizare în zone seismice de grad 6, 7 și 8.

Unele incertitudini asupra modului de comportare a clădirilor din panouri mari la solicitări seismice au condus la amânarea aplicării acestui sistem pentru clădirile înalte, până în 1973, când IPCT a reluat problema, elaborând o serie de clădiri cu P+8E cu rezolvări moderne, pe baza unor ample cercetări teoretice și experimentale ce au aprofundat gradul de cunoaștere a fenomenelor specifice. În anul 1973 au început să se execute la București clădirile din panouri mari prefabricate cu P + 8 etaje, seria 141-21 și apoi după 1978 seria 772. Sistemul constructiv al acestor clădiri era constituit dintr-o serie de celule structurale realizate din panouri mari având legături în plan orizontal prin planșee. Se obține astfel un ansamblu de profile tubulare cu rigiditate spațială. Pereții exteriori erau în trei straturi, cu grosimea stratului portant de 13 cm. Pereții interiori aveau grosimea de 16 cm. Planșeele erau plăci pline rezemate pe trei sau patru laturi prin intermediul unor dinți de rezemare, grosimea fiind de 16 cm. Elementele de închidere și compartimentare între celulele structurale s-au realizat din panouri neportante. Panourile interioare prezintă profilăție de contur și bucle orizontale pe laturile verticale. Erau prevăzute bare de legătură verticale spre capetele panourilor și lângă golurile de uși. Până în 1977 buclele transversale se suprapuneau la montajul panourilor. După 1977 buclele au fost scrutate, legătura între ele realizându-se printr-o fretă. În ambele cazuri armătura verticală asigură armarea îmbinării formate. Imbinarea orizontală este realizată prin subbetonare. Îmbinările orizontale erau de tipul “cu subbetonare” legăturile între planșee fiind realizate prin bucle, iar între pereții suprapuși, cu mustăți sudate. Proiectul a fost aplicat în București, până în anul 1985, blocurile executate regăsindu-se într-un număr mare în majoritatea marilor cartiere. Soluțiile cuprinse în proiect și-au dovedit eficiența atât prin productivitatea ridicată pe șantier, cât și prin comportarea în timp, un număr mare de blocuri fiind

supuse severului test reprezentat de cutremurul din 4 martie 1977, test la care au răspuns foarte bine.

Anul 1978 marchează prima aplicare a procedurii de construcții cu panouri mari în condițiile zonei seismice de grad 9, la clădiri cu P+3E - seria de clădiri cuprinse în proiectul nr. 944.

Pe baza studiilor efectuate în anii 1979-1980, s-a elaborat în 1981 seria de clădiri cuprinse în proiectul nr. 771, la care pentru prima oară se aplică principiile unei prefabricări deschise, folosind modulul mărit de 60 cm.

Ultima generație de proiecte tip pentru clădiri de locuit integral prefabricate, cu P+3...4 etaje, elaborate începând cu anul 1985 în IPCT, a fost seria de clădiri cuprinse în proiectele nr. 1340 și 1340/B, în cadrul cărora se face trecerea de la soluția cu celule constructive mici (sistem "fagure") la o soluție cu celule constructive de dimensiuni sporite (sistem "celular").

În perioada 1986-1988 s-a elaborat o nouă serie de clădiri de locuit cu 9 niveluri (proiect IPCT nr. 1402), pentru grade de seismicitate 6, 7 și 8. Rezolvările structurale au urmărit sporirea siguranței în exploatare și reducerea consumului de manoperă pe șantier prin simplificarea unor operații de montaj. Pereții exteriori aveau grosimea de 30 cm, fiind realizați în 3 straturi (15 cm în interior, 8 cm vată minerală, 7 cm în exterior), cu procent redus de nervuri – sub 5%. Pereții interiori aveau grosimea de 16 cm. Pereții interiori și exteriori aveau margini profilate și bucle orizontale pe laturile verticale. Planșeele aveau grosimea de 14 cm, și erau prevăzute cu dinți de reținer și bucle de legătură. Îmbinările verticale erau realizate prin betonare, cu bucle nesuprapuse continuate prin etrieri. Îmbinările orizontale erau realizate prin "subbetonare". Ambele tipuri de îmbinări au fost testate experimental la sarcini monotone crescătoare și alternante, dovedind o bună comportare. Aplicarea acestor soluții la Iași și Ploiești, a evidențiat o mare productivitate și asigurarea condițiilor pentru creșterea calității lucrărilor.

3. Aspecte specifice care intervin în analiza higrotermică/evaluarea performanței energetice

Acuratețea analizei higrotermice a elementelor de fațadă constituie o condiție esențială pentru o evaluare corectă, cât mai aproape de realitate, a performanței energetice a clădirilor, reflectată în certificatul energetic, document care are un cuvânt de spus din ce în ce mai important în tranzacțiile imobiliare sau obținerea unor împrumuturi de la bănci în vederea unor asemenea tranzacții.

O analiză higrotermică realistă și corectă presupune - în afară de identificarea configurației planimetrice și spațiale a clădirii și a factorilor legați de amplasament - cunoașterea alcătuirii constructive a elementelor de anvelopă și a caracteristicilor materialelor componente. Clădirile de locuit din panouri mari, construite în diferite perioade, prezintă o mare diversitate din acest punct de vedere din următoarele considerente:

- a. Natura stratului termoizolant - și implicit caracteristicile termotehnice ale acestuia - a fost modificată la un moment dat din considerente politico-economice,

înlocuindu-se vata minerală sau polistirenul expandat, considerate energointensive, cu betonul celular autoclavizat; aceasta a condus la creșterea grosimii panoului de fațadă și la modificarea în sens negativ a caracteristicilor legate de capacitatea de protecție termică.

- b. Pentru creșterea capacității de izolare termică a panourilor de fațadă s-a acționat în 2 direcții:
- reducerea conductivității termice a betonului armat din stratul de rezistență și de protecție prin folosirea unor betoane cu agregate ușoare, în special a betonului cu granolit;
 - optimizarea geometriei panoului prin reducerea grosimii și a numărului de nervuri care fac legătura între cele 2 straturi de beton necesare din motive tehnologice la execuția în fabrică precum și pentru a evita bombarea stratului de protecție, expus radiației solare și diferențelor accentuate de temperatură (șocuri termice). Un număr mare de nervuri de legătură, determinând un procent ridicat de punți termice, conduce la scăderea rezistenței specifice la permeabilitate termică a elementului, chiar dacă există zone foarte bine izolate. Astfel, pentru un panou mare de perete exterior, cu structură stratificată și rezistența termică în câmp curent $R = 2.51 \text{ m}^2\text{K/W}$, rezistența termică corectată a panoului poate fi modificată de la simplu la dublu, dacă se reduce lungimea nervurilor, respectiv procentul punților termice, p , scade de la 14% la 7% (fig 1).

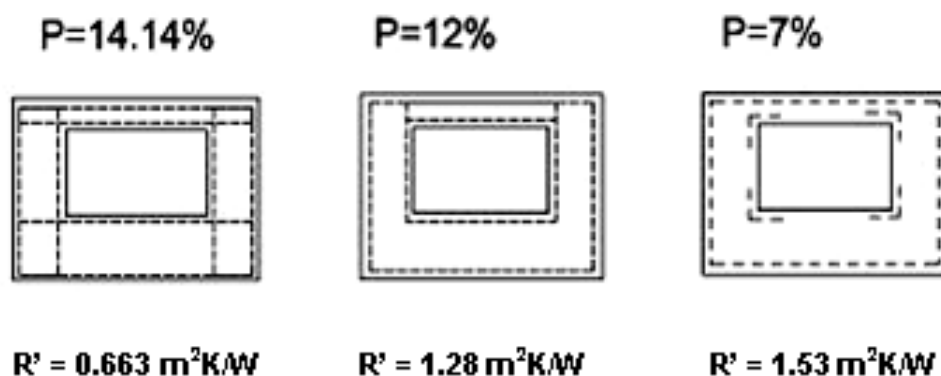


Fig. 1 Influența ponderii punților termice asupra rezistenței termice corectate la panouri mari cu structură tristrat

- c. O etapă superioară în procesul de optimizare a structurii panourilor de fațadă în scopul creșterii capacității de protecție termică a constituit-o renunțarea la nervurile de legătură pe 3 laturi - pe conturul panourilor. Acest lucru influențează semnificativ valorile coeficienților lineari de transfer termic corespunzător acestor tipuri de punți termice. Astfel, coeficientul de transfer termic linear, Ψ , corespunzător îmbinării în rost vertical între 2 panouri de fațadă cu termoizolație din vată minerală se reduce de cca 100 ori în cazul eliminării nervurii de pe contur, asociată cu creșterea grosimii stratului de izolare termică din rost. Practic, efectul punții termice este anihilat. (fig.2).

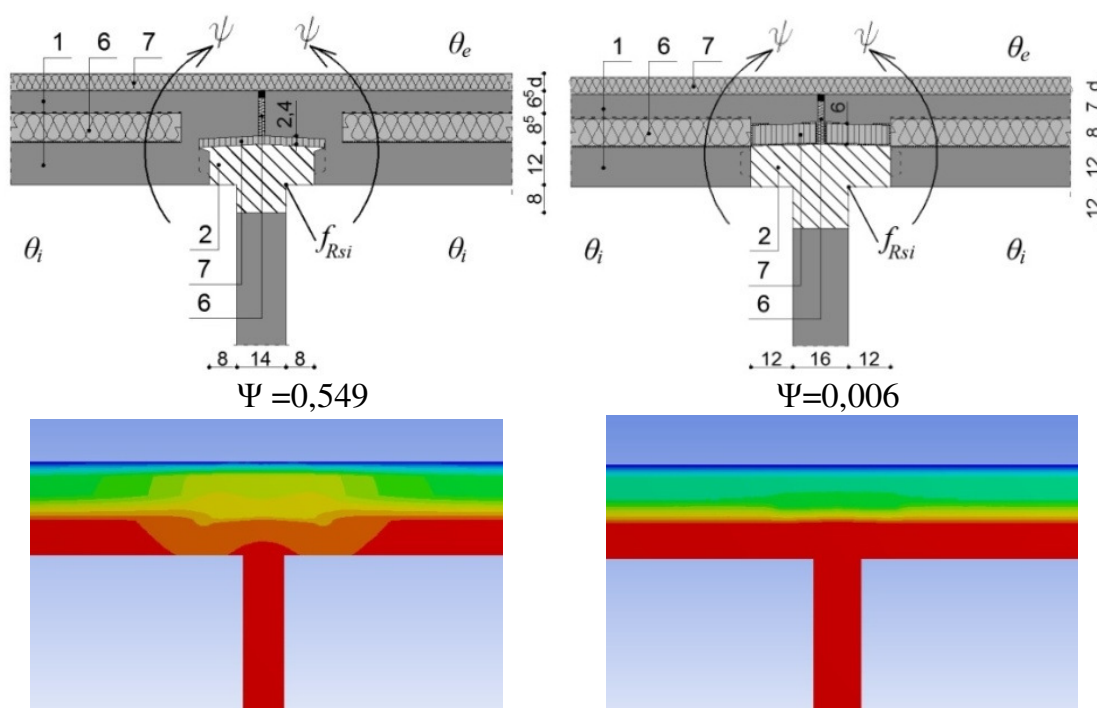


Fig. 2. Ameliorarea efectului de punte termică la intersecția dintre 2 panouri de fațadă și un perete interior prin eliminarea nervurii de pe contur și creșterea grosimii stratului izolat.

Un efect mai puțin spectaculos dar suficient de semnificativ se înregistrează și în cazul intersecției între peretele exterior și planșeul intermediar, valorile coeficienților lineari de transfer termic reducându-se de cca 10 ori (fig. 3).

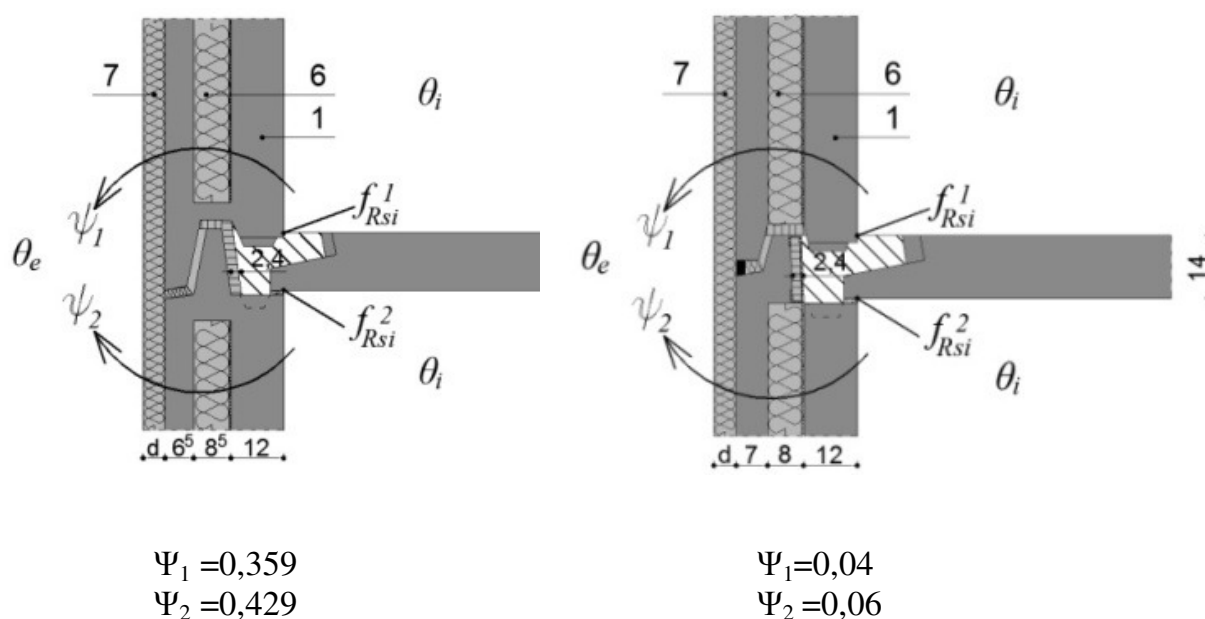


Fig.3 Ameliorarea efectului de punte termică la intersecția dintre 2 panouri de fațadă și planșeul intermediar prin eliminarea nervurii de pe contur (1)

Aspecte specifice în cazul analizei higrotermice a fațadelor la clădirile din panouri mari

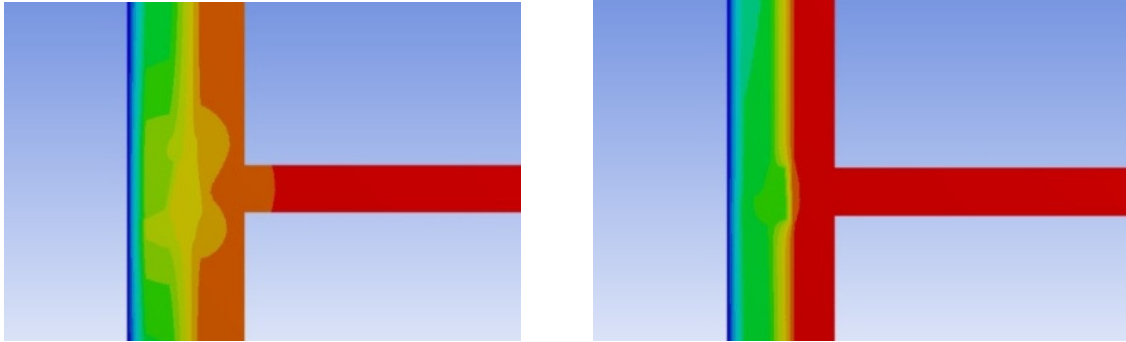


Fig.3 Ameliorarea efectului de punte termică la intersecția dintre 2 panouri de fațadă și planșeul intermediar prin eliminarea nervurii de pe contur (2)

Documentația existentă și/sau releveele făcute cu ocazia auditului energetic oferă informațiile necesare legate de arhitectura clădirii, dar structura panourilor și mai ales prezența și traseul nervurilor de legătură rămâne la aprecierea auditorului. Relativ la cel de al doilea aspect, pot fi obținute unele precizări dacă se apelează la examinarea clădirii cu ajutorul termografiei IR (fig.4).

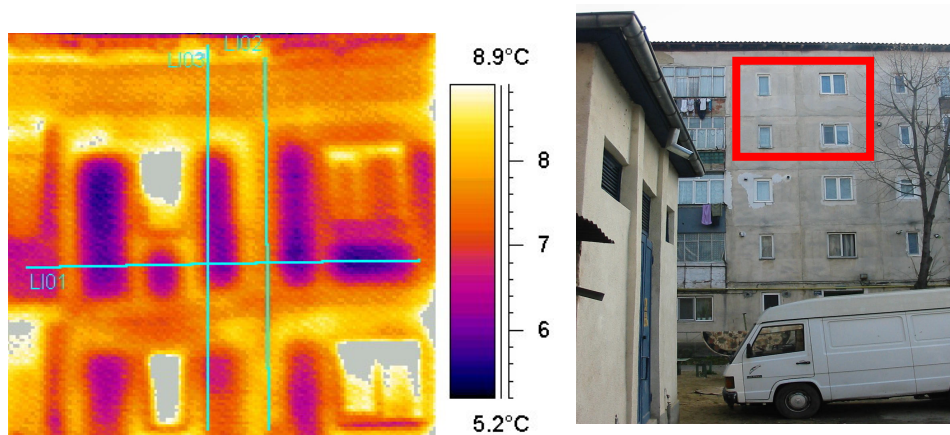


Fig.4 Evidențierea nervurilor verticale la un panou de fațadă cu ajutorul termografiei IR

Cu ajutorul imaginilor obținute prin analiza termografică a unei clădiri din panouri mari prefabricate reabilitată termic parțial, poate fi apreciată și măsura în care este ameliorat efectul punților termice ca urmare a aplicării termoizolației prin exterior (fig.5, 6).

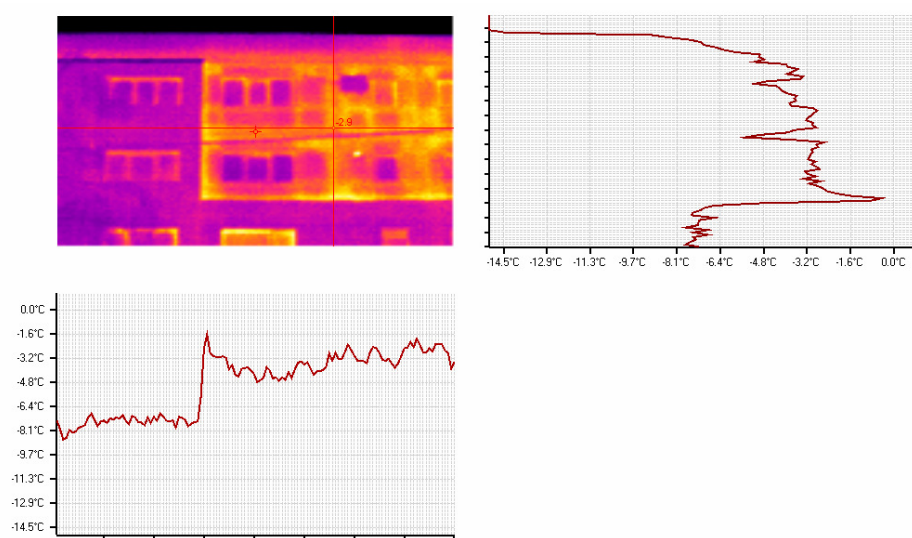


Fig. 5. Reducerea efectului punților termice la o clădire din panouri mari parțial reabilitată termic

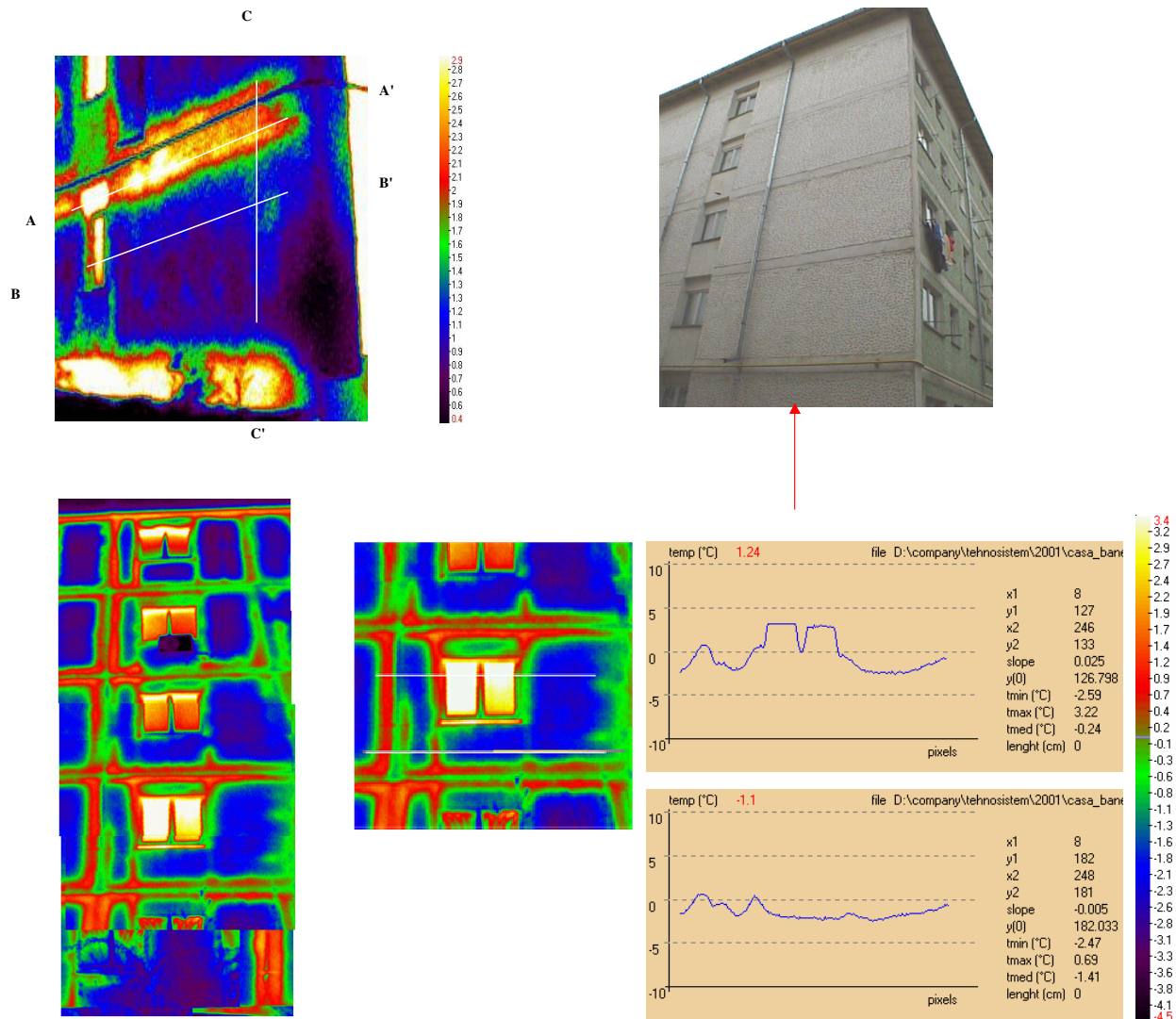


Fig. 6 Imagini termografice pe fațadele unor clădiri din panouri mari care pun în evidență punțile termice

4. Prezentarea unui studiu de caz - bloc de locuințe din panouri mari - proiect tip 770/78 IPCT

A fost aleasă pentru exemplificare o clădire din panouri mari cu regim de înălțime P+4E, elaborata conform proiectului tip nr. 770 elaborat în anul 1978 alcătuită din 2 secțiuni din seria Pb: Secțiunea Pb2 capăt-mijloc (scara A) – 19 apartamente cu 2 camere și Secțiunea Pb4 mijloc-capăt (scara B) – 18 apartamente cu 3 camere +1 apartament cu 4 camere (la parter).

Clădirea este situată în București, cartierul Băneasa, strada Marinarilor nr. 13 –15, bloc VI/5, scările A și B. Execuția s-a desfășurat pe parcursul anului 1980, locatarii ocupând apartamentele în luna ianuarie 1981. Clădirea este amplasată într-un cartier situat în nordul orașului București, orientată cu fațada principală spre sud, este

adăpostita fiind situată în mijlocul altor blocuri, dar cu distanțe destul de mari (cca 10 m) față de acestea și nu este umbrită de clădirile învecinate sau de vegetație. Se fac următoarele precizări:

- Există un număr mare de clădiri existente realizate în această alcătuire, conform proiectului tip nr. 770 elaborat în anul 1978.
- Atât regimul de înălțime P+4E, cât și alcătuirea, numai cu 2 scări, situează blocul ales pentru studiul de caz, în registrul clădirilor care se comportă defavorabil din punct de vedere energetic. Comportarea cea mai defavorabilă se înregistrează însă la clădirile alcătuite numai dintr-o singură secțiune, dar numărul acestui tip de alcătuiri este mai mic.
- Este o clădire realizată imediat după cutremurul din anul 1977, fără degradări structurale constatate la cutremurele ulterioare, deci cu un grad de asigurare a structurii de rezistență îmbunătățit, fiind de așteptat ca în urma expertizei structurale să nu fie necesare intervenții majore la structura de rezistență, iar soluțiile de ameliorare termotehnică să fie posibile pe actualele elemente de anvelopă.
- Nivelul de protecție termică al clădirilor construite în aceea perioadă, caracterizat printr-un procent mare de punți termice, este de așteptat să fie mai scăzut decât la generațiile următoare de clădiri din panouri mari.
- Secțiunile Pb4 și Pb2 au fost cele mai mult utilizate fie independent, fie combinate între ele (ca în cazul ales pentru efectuarea studiului de caz), fie combinate cu celelalte secțiuni.
- Secțiunile, conformate bine, totuși au prevăzute o serie de decroșuri (surse de flux termic disipat suplimentar).
- Alte caracteristici: zona climatică II - $\theta_e = -15^{\circ}\text{C}$; înălțimea de nivel 2,70 m.

Elementele de anvelopa ale clădirii existente au următoarea alcătuire:

- Terasa este necirculabilă cu pante de scurgere spre punctele de colectare, scurgerea acestora făcându-se prin coloane verticale interioare. Termoizolația a fost prevăzută din zgură expandată în grosime variabilă. Hidroizolația era prevăzută în proiect din 2 straturi de împâslitură de sticlă bitumată și un strat de panză bitumată între 4 straturi de mastic bituminos. Clădirea a funcționat în primii 3 ani de la execuție cu panouri solare montate pe terasă care în prezent sunt dezafectate fiind în curs de înlocuire hidroizolația terasei.
- Panourile de pereți exteriori au o grosime totală de 27 cm; sunt prevăzute cu finisaj realizat în fabrică, sunt concepute în soluția cu 3 straturi; termoizolația panourilor de pereți exteriori, mediană, este vată minerală rigidă G100 cu grosime de 8,5 cm; panourile de pereți au fost concepute pentru turnare cu fața exterioară în sus, fiind necesare nervuri din beton armat pe contur și în jurul ferestrelor pe toată înălțimea panourilor, ceea ce a condus la procente ale punților termice de cca 15%.
- Tâmplăria exterioară este din lemn, cuplată, având deschidere spre interior pentru ambele cercevele, cu 2 foi de geam obișnuit de 3 mm grosime, prevăzută cu etanșări, pervazuri și glafuri.

Aspecte specifice în cazul analizei higrotermice a fațadelor la clădirile din panouri mari

- Planșeul peste subsol, prevăzut în proiect cu un strat 2,4 cm vată minerală, amplasat pe placa din beton armat, sub pardoseală, în realitate nu a fost termoizolat.
- Hidroizolarea verticală a pereților subsolului a fost prevăzută prin dublă vopsire cu bitum topit a suprafețelor exterioare care vin în contact cu terenul. Hidroizolarea orizontală s-a realizat prin realizarea centurilor orizontale de la nivelul planșeului peste subsol, din beton B300 cu permeabilitate redusă.
- Soluția de etanșare a rosturilor dintre panouri a fost realizată cu rosturi orizontale și verticale de tip închis cu chit C895; rostul orizontal este prevăzut cu prag înalt (14 cm), iar cel vertical este protejat cu o folie de BUTAROM de 1 mm grosime lipită cu prenadez.
- Izolarea rosturilor verticale și orizontale se face cu polistiren de 24 mm grosime.

Pentru această clădire precum și pentru clădirea reabilitată, s-au obținut rezistențele termice corectate prevăzute în tabelele următoare:

Tabelul 1a

Determinarea rezistenței termice corectate medii a anvelopei - clădire existentă

Determinarea rezistenței termice corectate medii a anvelopelor - caudre existente						
Nr. Crt.	Elementul de construcție		A _j	R' _j	τ _j	$\frac{A_j \cdot \tau_j}{R'_j}$
			m ²	m ² K/W	-	W/K
1	Pereți exteriori	curenți	1342.09	0.575	1.00	2334.04
2		la intr.principală	13.85	0.343	1.00	40.38
3		la intr.secundară	14.78	0.677	1.00	21.83
4	Tâmplărie exterioară	din lemn,cuplată	315.02	0.390	1.00	807.74
5		metalică,simplă	19.28	0.170	1.00	113.41
6	Pereți interiori	spre subsol	26.89	0.435	0.43	26.58
7		spre cam.pubele	38.87	0.492	0.40	31.60
8	Tâmplărie inter.	spre subsol	3.04	0.340	0.43	3.84
9	Planșee exterioare	la terasă	546.15	1.003	1.00	544.52
10		sub et.l	8.71	1.690	1.00	5.15
11	Planșee interioare	peste subsol	534.34	0.368	0.43	624.36
12		peste cam.pubele	7.22	1.731	0.40	1.67
TOTAL			2870.24	0.630	-	4555.15

Tabelul 1b

Determinarea rezistenței termice corectate medii a anvelopei - clădire modernizată

Nr. Crt.	Elementul de construcție		A_j	R'_j	τ_j	$\frac{A_j \cdot \tau_j}{R'_j}$
			m ²	m ² K/W	-	W/K
1	Pereți exteriori	curenți	1342.09	1.909	1.00	703.03
2		la intr.principală	13.85	2.843	1.00	4.87
3		la intr.secundară	14.78	1.706	1.00	8.66
4	Tâmplărie exterioară	din lemn,cuplată	315.02	0.650	1.00	484.65
5		metalică,simplă	19.28	0.430	1.00	44.84

Nr. Crt.	Elementul de construcție		A _j	R' _j	τ _j	$\frac{A_j \cdot \tau_j}{R'_j}$
			m ²	m ² K/W	-	W/K
6	Pereți interiori	spre subsol	26.89	0.435	0.69	42.65
7		spre cam.pubele	38.87	0.492	0.43	33.97
8	Tâmplărie inter.	spre subsol	3.04	0.34	0.69	6.17
9	Planșee exterioare	la terasă	546.15	3.320	1.00	164.50
10		sub et.l	8.71	4.558	1.00	1.91
11	Planșee interioare	peste subsol	534.34	2.004	0.69	183.98
12		peste cam.pubele	7.22	1.731	0.43	1.79
TOTAL			2870.24	1.707	-	1681.02

Coeficienți liniari de transfer termic ψ – pentru clădirea existentă, care au fost luați în considerare pentru calculul rezistențelor termice corectate, sunt prezentați în Tabelul 2a.

Rezistențe termice corectate calculate pentru elementele de anvelopă ale clădirii existente sunt prezentate în tabelul 3a (valori R , r și R'). În Tabel se calculează de asemenea rezistențele medii $\bar{R}$ și $\bar{R}'$. Rezultă:

$$\begin{aligned}\bar{R} &= 0,763 \text{ m}^2\text{K/W} \\ \bar{R}' &= 0,524 \text{ m}^2\text{K/W} \\ \bar{r} &= 0,687\end{aligned}$$

Coeficienți liniari de transfer termic ψ – pentru clădirea modernizată, care au fost luați în considerare pentru calculul rezistențelor termice corectate, sunt prezentați în Tabelul 2b.

Rezistențe termice corectate calculate pentru elementele de anvelopă ale clădirii modernizate sunt prezentate în tabelul 3b (valori R , r și R'). În Tabel se calculează de asemenea rezistențele medii $\bar{R}$ și $\bar{R}'$. Rezultă:

$$\begin{aligned}\bar{R} &= 2,208 \text{ m}^2\text{K/W} \\ \bar{R}' &= 1,566 \text{ m}^2\text{K/W} \\ \bar{r} &= 0,709\end{aligned}$$

Tabelul 2a

Coeficienți liniari de transfer termic - pentru clădirea existentă

Poziția		Detaliul		Ψ ₁ (pereți)	Ψ ₂ (planșee)		
Panou		N	Nervură curentă în panouri		0,376	-	
Secțiuni orizontale		0	1	Intersecție perete exterior-perete interior		1,016	-
			2	Colț ieșind curent		0,952	-
			3	Colț ieșind la rezalid		0,483	-
			4	Colț intrând la rezalid		0,581	-
Secțiuni verticale prin planșee	etaj curent	V	1	Intersecție perete exterior-planșeu		0,863	-
			2	Intersecție perete ext. -	fără termoizolație	0,987	-
			3	placă balcon	cu termoizolație	0,827	-
			4	Idem V2, dar lateral rezaliduri		0,896	-
	terasă	T	1	Cornișă curentă		0,419	0,464
			2	Peste balcoanele	fără termoizolație	0,421	0,375
			3	adiacente rezalidurilor	cu termoizolație	0,404	0,352
			4	Idem T2, dar lateral	fără placă cornișă	0,403	0,275
			5	rezaliduri	cu placă cornișă	0,374	0,362
	subsol	S	1	Soclu curent		0,389	0,331
			2	Soclu lateral rezalid		0,432	0,353
Contur tâmplărie exterioară		F	1	În panouri curente	lateral și sus	0,407	-
			2		solbancuri ferestre	0,490	-
			3		praguri uși de balcon	0,932	-
			4	Lateral rezaliduri	lateral și sus	0,262	-
			5		lateral colț intrând	0,595	-
			6		praguri uși de balcon	0,739	-

Tabelul 2b

Coeficienți liniari de transfer termic - pentru clădirea modernizată

Poziția	Detaliul		l	Ψ ₁ (pereți)	Ψ ₁ (planșeu)	θ _{si min}	
						pereți	planșee
			m	W/(mK)		°C	
Panou	N	-	602,04	0,01	-	18,8	-
Secțiuni orizontale	O	1	314,32	0,10	-	18,1	-
		2	53,28	0,22	-	16,8	-
		3	101,20	0,31	-	16,2	-
		4	24,56	0,15	-	18,3	-
Secțiuni verticale planșeu et. crt.	V	1	358,98	0,12	-	16,1	-
		2	80,00	0,63	-	14,5	-
		3	20,80	0,58	-	14,8	-
		4	18,00	0,61	-	14,6	-
Secțiuni verticale prin planșeu de terasă	T	1	95,84	0,19	0,29	14,9	
		2	14,80	0,13	0,18	14,9	
		3	5,20	0,12	0,17	14,7	
		4	7,84	0,12	0,15	14,4	
		5	4,16	0,11	0,17	14,6	

Poziția	Detaliul		l	Ψ ₁ (pereți)	Ψ ₁ (planșeu)	θ _{si min}	
						pereți	planșee
			m	W/(mK)		°C	
Secțiuni verticale prin planșeu peste subsol	S	1	101,78	0,33	0,25	9,1	
		2	11,42	0,37	0,28	9,0	
		3	202,20	-	0,35	-	14,2
Contur tâmplărie exterioară	F	1	576,98	0,11	-	16,3	-
		2	204,74	0,18	-	15,9	-
		3	7,20	0,75	-	11,6	-
		4	96,00	0,09	-	17,0	-
		5	67,20	0,05	-	13,2	-
		6	27,00	0,61	-	9,5	-
TOTAL			2995,54	-	-	-	-

În tabelele 3a și 3b au fost utilizate următoarele relații:

1) Rezistență termică corectată $R' = r \cdot R$

2) Rezistență termică unidirecțională medie
$$\bar{R} = \frac{\sum A}{\sum \left(\frac{A}{R} \right)}$$

3) Rezistența termică corectată medie
$$\bar{R}' = \frac{\sum A}{\sum \left(\frac{A}{R'} \right)}$$

4) Coeficientul de reducere mediu
$$\bar{r} = \frac{\bar{R}'}{\bar{R}}$$

Tabelul 3a

Tabel centralizator arii și rezistențe termice - clădirea existentă

Nr. crt.	Elementul de construcție perimetral		A	R	r	R' ¹⁾
			m ²	m ² K/W	-	m ² K/W
1	Pereți exteriori	curenți	1342,09	1,844	0,312	0,575
2		la intr.princ.	13,85	0,343	1,0	0,343
3		la intr.secund.	14,78	0,677	1,0	0,677
4	Tâmplărie exterioară	din lemn, cuplată	315,02	0,390	1,0	0,390
5		metalică, simplă	19,28	0,170	1,0	0,170
6	Pereți interiori	spre subsol	26,89	0,435	1,0	0,435
7		spre cam.pubele	38,87	0,492	1,0	0,492
8	Tâmpl.int.	spre subsol	3,04	0,340	1,0	0,340
9	Planșee exterioare	la terasă	546,15	1,140	0,880	1,003
10		sub et.I	8,71	1,690	1,0	1,690
11	Planșee interioare	peste subsol	534,34	0,378	0,973	0,368
12		peste cam.pubele	7,22	1,731	1,0	1,731
Total anvelopă			2870,24	0,763 ²⁾	0,687 ⁴⁾	0,524 ³⁾

Tabelul 3b

Tabel centralizator arii și rezistențe termice - clădirea modernizată

Nr. crt.	Elementul de construcție		A	R	r	R'
			m ²	m ² K/W	-	m ² K/W
1.	Pereți exteriori	curenți	1342,09	4,348	0,439	1,090
2.		la intr.princ.	13,85	2,842	1,0	2,843
3.		la intr.secund	14,78	1,706	1,0	1,706
4.	Tâmplărie exterioară	din lemn	315,02	0,650	1,0	0,650
5.		metalică	19,28	0,430	1,0	0,430
6.	Pereți interiori	spre subsol	26,89	0,435	1,0	0,435
7.		spre cam.pubele	38,87	0,492	1,0	0,492
8.	Tâmplărie inter.spre subsol		3,04	0,340	1,0	0,340
9.	Planșee exterioare	la terasă	546,15	4,669	0,711	3,320
10.		sub et.I	8,71	4,558	1,0	4,558
11.	Planșee interioare	peste subsol	534,34	3,045	0,658	2,004
12.		peste cam.pubele	7,22	1,731	1,0	1,731
Total anvelopă			2870,24	2,208 ²⁾	0,709 ⁴⁾	1,566 ³⁾

În tabelul 4a se prezintă rezistențele termice R și R', în comparație cu rezistențele termice necesare R'_{nec}. Pentru tâmplăria exterioară din lemn s-a considerat valoarea R'_{nec} = 0,39 m²K/W, pentru grupa de clădiri I.

Tabelul 4a

Comparație între rezistențele termice R, R' și rezistențele termice necesare R'_{nec} - clădirea existentă

Elementul de construcție		R' _{nec}	R	$\frac{R}{R'_{nec}} \cdot 100$	R'	$\frac{R'}{R'_{nec}} \cdot 100$
		m ² K/W	m ² K/W	%	m ² K/W	%
Pereți exteriori curenți		1,094	1,844	168,5	0,575	52,6
Tâmplărie ext.din lemn		0,390	0,390	100,0	0,390	100,0
Pereți interiori	spre subsol	0,469	0,435	92,7	0,435	92,7
	spre cam.pubele	0,438	0,492	112,3	0,492	112,3
Planșee exterioare	la terasă	1,458	1,140	78,2	1,003	68,8
	sub et.I	2,917	1,690	57,9	1,690	57,9
Planșee interioare	peste subsol	1,250	10,378	30,2	0,368	29,4
	peste pubele	1,167	1,731	148,3	1,731	148,3

În tabelul 4b se prezintă o comparație între valorile calculate ale rezistențelor termice și cele normate, în cazul clădirii modernizate.

Tabelul 4b

Rezistențe termice după modernizare în comparație cu rezistențele termice normate - clădire modernizată

Nr. crt.	Elementul de construcție		Rezistențe termice realizate		Rezistențe termice normate	
			R	R'	R' _{nec}	R' _{min}
			m ² K/W		m ² K/W	
1.	Pereți exteriori	curenți	4,35	1,91	1,09	1,80
2.		la intr.princ.	2,84	2,84	0,87	-
3.		la intr.secund.	1,71	1,71	0,87	-
4.	Tâmplărie exterioară	din lemn	0,65	0,65	0,39	0,77
5.		metalică	0,43	0,43	-	-
6.	Pereți interiori	spre subsol	0,44	0,44	0,75	-
7.		spre cam.pubele	0,49	0,49	0,47	-
8.	Tâmplărie int.spre subsol		0,34	0,34	-	-
9.	Planșee exterioare	la terasă	4,66	3,32	1,46	5,00
10.		sub et.I	4,56	4,56	2,92	4,50
11.	Planșeu interioare	peste subsol	3,04	2,00	2,00	2,90
12.		peste cam.pubele	1,73	1,73	1,25	2,90

În tabelul 5a se determină temperaturile θ_{si} pe suprafața interioară a elementelor de construcție perimetrale opace, în câmp curent (calcul unidirecțional) pentru clădirea existentă. Se aplică relația de calcul:

$$\theta_{si} = \theta_i - \frac{(\theta_i - \theta_j)}{h_i R}, \text{ în care } \theta_j = \theta_e \text{ sau } \theta_j = \theta_u, \theta_i = +20^\circ\text{C}$$

În toate cazurile $\theta_{si} > \theta_r$, în condițiile în care $\theta_r = +12^\circ\text{C}$ (pentru $\theta_i = +20^\circ\text{C}$ și $\varphi_i = 60\%$).

Tabelul 5a

Temperaturi superficiale interioare - clădire existentă

Elementul de construcție		θ_j	h_i	R	θ_{si}	φ_i *
		$^{\circ}\text{C}$	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$	$^{\circ}\text{C}$	
Pereți exteriori din panouri	în fațade	-15	8,0	1,877	17,7	87
	la rezaliduri			1,512	17,1	83
Planșeu terasă				1,140	16,2	78
Planșeu sub et.I, spre ext.			6,0	1,690	16,5	80
Pereți	spre subsol	+5	8,0	0,435	15,7	77
Planșee			6,0	0,378	13,4	66
Pereți	spre cam.pubelelor	+6	8,0	0,492	16,4	79
Planșee			6,0	1,731	18,6	91

* Umiditatea relativă interioară la care apare condensul superficial în condițiile $\theta_i = 20^\circ\text{C}$.

Spre deosebire de situația relativ bună în ceea ce privește riscul de apariție a fenomenului de condens superficial - în câmp curent, la intersecții și în dreptul punților termice temperaturile superficiale minime $\theta_{si \text{ min}}$ au valori mult mai scăzute, în multe cazuri sub temperatura punctului de rouă.

Tabelul 5b

Temperaturi superficiale interioare - clădire modernizată

Elementul de construcție		θ_i °C	h_i W/(m²K)	R m²K/W	θ_{si} °C
Pereți exteriori din panouri	în fațade	-15	8,0	4,377	19,0
	la rezaliduri			4,012	18,9
	Planșeu terasă			4,669	19,1
Planșeu sub et.I, spre ext.			6,0	4,558	18,7
Pereți	spre subsol	-4	8,0	0,435	13,1
Planșeu			6,0	3,045	18,7
Pereți	spre cam.pubelelor	+5	8,0	0,492	16,2
Planșee			6,0	1,731	18,5

Evident, în toate cazurile:

$$\theta_{si} > \theta_r$$

Valorile obținute pentru majoritate a detaliilor îndeplinesc condiția: $\theta_{si} \geq 12,0^\circ\text{C}$

Coefficientul global cu de izolare termică G se determină pe baza relației de calcul:

$$G = \frac{A}{V} \frac{1}{R'_M} + 0,34 \cdot n \quad [\text{W}/(\text{m}^3\text{K})],$$

în care:

R'_M este rezistența termică, corectată medie a anvelopei:

$$R_M = \frac{A}{\sum \left(\frac{A_j \cdot \tau_j}{R'_j} \right)} \quad [\text{m}^2\text{K}/\text{W}]$$

În tabelul 6a se calculează rezistența termică corectată medie a anvelopei, pentru clădirea existentă, considerând: $n = 0,7 \text{ h}^{-1}$; $V = 7230,52 \text{ m}^3$; $A = \sum A_j = 2870,24 \text{ m}^2$; Raportul între aria anvelopei și volumul clădirii: $\frac{A}{V} = \frac{2870,24}{7230,52} = 0,397 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Tabelul 6a

Determinarea rezistenței termice corectate medii a anvelopei - clădirea existentă

Nr. crt.	Elementul de construcție		A_j	R'_j	τ_j	$\frac{A_j \cdot \tau_j}{R'_j}$
			m²	m²/W	-	W/K
1.	Pereți exteriori	curenți	1342,09	0,575	1,00	2334,07
2.		la intr.princ.	13,85	0,343	1,00	40,38
3.		la intr.secund.	14,78	0,677	1,00	21,83
4.	Tâmplărie exterioară	din lemn, cuplata	315,02	0,390	1,00	807,74
5.		metalică, simplă	19,28	0,170	1,00	113,41
6.	Pereți interiori	spre subsol	26,89	0,435	0,43 ¹⁾	26,58
7.		spre cam.pubele	38,87	0,492	0,40 ²⁾	31,60

Nr. crt.	Elementul de construcție		A _j	R' _j	τ _j	$\frac{A_j \cdot \tau_j}{R'_j}$
			m ²	m ² /W	-	W/K
8.	Tâmplărie int.	spre subsol	3,04	0,340	0,43 ¹⁾	3,84
9.	Planșee exterioare	la terasă	546,15	1,003	1,00	544,52
10.		sub et.I	8,71	1,690	1,00	5,15
11.	Planșee interioare	peste subsol	534,34	0,368	0,43 ¹⁾	624,36
12.		peste cam.pubele	7,22	1,731	0,40 ²⁾	1,67
TOTAL			2870,24	0,630	-	4555,15

Rezistența termică corectată medie a anvelopei clădirii existente este:

$$R'_M = 0,630 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Rezultă, pentru clădirea existentă:

$$G = 0,397 \cdot \frac{1}{0,630} + 0,34 \times 0,7 = 0,630 + 0,238$$

$$G = 0,868 \text{ W/(m}^3\text{K)}$$

Pentru comparație, se stabilește valoarea coeficientului global normat pentru clădiri (pentru $N = 5$ și $A/V = 0,397 \text{ m}^{-1}$) $GN = 0,42 \text{ W/(m}^3\text{K)}$

Valoarea normată este depășită cu:

$$\frac{G - GN}{GN} 100 = \frac{0,868 - 0,420}{0,420} 100 = 106,7 \%$$

În tabelul 6b se calculează rezistența termică corectată medie a anvelopei, pentru clădirea modernizată, considerând: $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$; $V = 7230,52 \text{ m}^3$; $A = 2870,24 \text{ m}^2$;

$$\frac{A}{V} = 0,397 \text{ m}^2/\text{m}^3.$$

Tabelul 6b

Determinarea rezistenței termice corectate medii a anvelopei - clădirea modernizată

Nr. crt.	Elementul de construcție		A _j	R' _j	τ _j	$\frac{A_j \cdot \tau_j}{R'_j}$
			m ²	m ² /W	-	W/K
1	Pereți exteriori	curenți	1342,09	1,909	1,00	703,03
2		la intr.princ.	13,85	2,843	1,00	4,87
3		la intr.secund.	14,78	1,706	1,00	8,66
4	Tâmplărie exterioară	din lemn	315,02	0,650	1,00	484,65
5		metalică	19,28	0,430	1,00	44,84
6	Pereți interiori	spre subsol	26,89	0,435	0,69	42,65
7		spre cam.pubele	38,87	0,492	0,43	33,97
8	Tâmplărie int.	spre subsol	3,04	0,340	0,69	6,17
9	Planșee exterioare	la terasă	546,15	3,320	1,00	164,50
10		sub et.I	8,71	4,558	1,00	1,91
11	Planșee interioare	peste subsol	534,34	2,004	0,69	183,98
12		peste cam.pubele	7,22	1,731	0,43	1,79
TOTAL			2870,24	1,707	-	1681,02

Rezistența termică corectată medie a anvelopei clădirii modernizate este: $R'_M = 1,707 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Rezultă, pentru clădirea modernizată:

$$G = 0,397 \cdot \frac{1}{1,707} + 0,34 \times 0,5 = 0,233 + 0,170$$

$$G = 0,403 \text{ W/(m}^3\text{K)}$$

Valoarea $G = 0,403 \text{ W/(m}^3\text{K)}$ reprezintă 46,4 % din valoarea inițială $G = 0,868 \text{ W/(m}^3\text{K)}$ și este puțin mai mică decât valoarea normată $G_N = 0,42 \text{ W/(m}^3\text{K)}$

Necesarul anual de căldură pentru încălzire se determină considerând calculul simplificat conform normativului C107-2005 [1,2], astfel:

1) Se determină temperatura interioară medie; calculul se face pentru un apartament de 3 camere:

- Încăperi de locuit	$A_{loc} = 40,5 \text{ m}^2$	$\theta_i = +20^\circ\text{C}$
- Bucătărie	$A_u = 9,0 \text{ m}^2$	$\theta_i = +18^\circ\text{C}$
- Baie	$A_u = 4,2 \text{ m}^2$	$\theta_i = +22^\circ\text{C}$
- Încăperi anexe	$A_u = 68,3 - 53,7 = 14,6 \text{ m}^2$	$\theta_i = +18^\circ\text{C}$

$$\theta_i = \frac{20 \times 40,5 + 22 \times 4,2 + 18 \times 23,6}{68,3} = 19,4^\circ\text{C}$$

2) Se determină numărul anual de grade zile de calcul:

$$N_{12}^{20} = 3170 \text{ K zile}$$

$$D_{12} = 190 \text{ zile}$$

$$N_{12}^{19,4} = 3170 - (20 - 19,4)190 = 3056 \text{ K zile}$$

3) Coeficientul de corecție (punct termic cu reglaj manual, instalații fără dispozitive de reglare termostată):

$$C = 0,963$$

4) Aportul de căldură internă:

$$Q_i = 7 \text{ kWh/(m}^3\text{an)}$$

5) Aportul de căldură provenit din radiațiile solare se calculează cu relația:

$$Q_s = 0,40 \times g \frac{1}{V} \Sigma(I_{Gj} \cdot A_{Fj})$$

în care:

$g = 0,75$ - pentru geamuri duble

$$V = 7230,52 \text{ m}^3$$

$$I_{Gj} = \frac{24}{1000} D_{12} \cdot I_{Tj}$$

$$I_{Gj} = \frac{24}{1000} 190 \cdot I_{Tj} = 4,56 \times I_{Tj}$$

Rezultă:

$$Q_s = 0,40 \cdot 0,75 \frac{1}{7230,52} \cdot 4,56 \Sigma(I_{Tj} \cdot A_{Fj}) = \frac{0,1892}{1000} \Sigma(I_{Tj} \cdot A_{Fj})$$

Termenul $\Sigma(I_{Tj} \times A_{Fj})$ se calculează în Tabelul A2 pe baza ariilor A_{Fj} și a valorilor I_{Tj}

Tabelul 7

Parametrul	Simbolul	UM	Orientare cardinală "j"			
			S	N	E	V
Aria tâmplăriei exterioare	A_F	W/m^2	92,5	20,3	47,4	47,4
Intensitatea radiației solare totale	I_T	m^2	113,42	129,42	45,54	45,92
$A_F \times I_T$		W	10491,35	2627,23	2158,60	2176,61
$\Sigma(I_{Tj} \times A_{Fj})$		W	17453,79			

Rezultă:

$$Q_s = \frac{0,1892}{1000} \times 17453,79 = 3,3 \text{ kWh}/(m^3 \text{ an})$$

6) Necesarul anual de căldură pentru încălzire se calculează cu relația (1):

$$Q = \frac{24}{1000} CxN_{12}^{19,4} xG - (Q_i + Q_s)$$

în care:

$$G = 0,868 \text{ W}/(m^3 K)$$

Rezultă:

$$Q = \frac{24}{1000} 0,963 \times 3056 \times 0,868 - (7,0 + 3,3)$$

$$Q = 51,00 \text{ kWh}/(m^3 \text{ an})$$

7) Pentru comparație, se calculează necesarul anual de căldură pentru încălzire, normat pentru clădirile de locuit:

$$QN = 10 + 25 \frac{A}{V}$$

$$QN = 10 + 25 \times 0,397 = 19,9 \text{ kWh}/(m^3 \text{ an})$$

Valoarea normată pentru clădirea modernizată, raportată la aria utilă, rezultă:

$$QN' = 3,378 \text{ QN} = 3,378 \times 19,9 = 67,22 \text{ kWh}/(m^2 \text{ an})$$

Pentru clădirea modernizată, apar următoarele diferențe:

- coeficientul de corecție se menține același, pentru a evidenția doar influența modernizării anvelopei; probabil însă că trebuie adoptată valoarea: $C = 0,893$ - curba 1b
- aportul de căldură provenit din radiația solară trebuie redus cu raportul $\frac{0,45}{0,75}$, reprezentând raportul dintre valoarea "g" aferentă situației inițiale și valoarea "g"

după modernizare (un geam simplu + un geam termoizolant dublu, având o suprafață tratată):

$$Q_s = 3,3 \frac{0,45}{0,75} = 2,0 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \text{ an})$$

Rezultă pentru clădirea modernizată:

$$Q = \frac{24}{1000} 0,963 \times 3056 \times 0,403 - (7,0 + 2,0)$$

$Q = 19,5 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \text{ an})$; În cazul considerării valorii $C = 0,893$ rezultă: $Q = 17,4 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \text{ an})$,

În tabelul 8 se prezintă, sintetic, rezultatele obținute pentru clădirea existentă și cea modernizată.

Tabelul 8

Necesarul anual de căldură pentru încălzire - clădirea existent versus clădirea modernizată

Parametrul		Varianta Coef."C"	Q		$\frac{Q_1}{Q_0} \cdot 100$	QN	$\frac{Q_1}{QN} \cdot 100$
			după modernizare Q ₁	înainte de modernizare Q ₀			
			-	kWh/(m ³ an)			
Necesarul anual de căldură pentru încălzire	pe 1m ³	0,963	19,5	51,0	38,2	19,9	97,9
		0,893	17,4		34,1		87,4
	pe 1 apart.*	-	Gcal/an		%	Gcal/an	%
		0,963	3,19	8,35	38,2	3,26	97,9
		0,893	2,85		34,1		87,4

* Volumul unui apartament mediu (2, 5 camere)

$$V = \frac{7230,52}{38} = 190,3 \text{ m}^3$$

5. Concluzii

- Influența punților termice, la clădirile din panouri mari care sunt izolate termic bine în câmp curent, face ca rezistențele termice corectate să scadă mult față de cele unidirecționale atât în situația existentă cât și în cea modernizată. Evaluarea corectă a acestei scăderi este deosebit de importantă pentru un calcul corect al performanței energetice a clădirilor. Astfel,
 - la pereții exteriori, pentru clădirea existentă, de la $R = 1,844 \text{ m}^2\text{K/W}$ la $R' = 0,575 \text{ m}^2\text{K/W}$ ($r = 0,312$), iar pentru clădirea modernizată de la $R = 4,384 \text{ m}^2\text{K/W}$ la $R' = 1,090 \text{ m}^2\text{K/W}$ ($r = 0,439$),
 - la terasă, pentru clădirea existentă, de la $R = 1,140 \text{ m}^2\text{K/W}$ la $R' = 1,003 \text{ m}^2\text{K/W}$ ($r = 0,880$), iar pentru clădirea modernizată de la $R = 4,669 \text{ m}^2\text{K/W}$ la $R' = 3,320 \text{ m}^2\text{K/W}$ ($r = 0,711$),
 - la planșeul peste subsol, pentru clădirea existentă, de la $R = 0,378 \text{ m}^2\text{K/W}$ la $R' = 0,368 \text{ m}^2\text{K/W}$ ($r = 0,973$), iar pentru clădirea modernizată de la $R = 3,045 \text{ m}^2\text{K/W}$ la $R' = 2,004 \text{ m}^2\text{K/W}$ ($r = 0,658$),

- pe ansamblul anvelopei clădirii, rezistența medie corectată scade, pentru clădirea existentă - de la $0,763 \text{ m}^2\text{K/W}$ la $0,524 \text{ m}^2\text{K/W}$ ($r = 0,687$), iar pentru clădirea modernizată - de la $2,208 \text{ m}^2\text{K/W}$ la $1,566 \text{ m}^2\text{K/W}$ ($r = 0,709$),
- 2. La clădirile din panouri mari este necesară și evaluarea riscului de apariție a condensului pe suprafața interioară precum, în unele cazuri a condensului interstițial.
- 3. Calculul coeficientului global de izolare termică G reprezintă un instrument prețios, singurul cu care se pot identifica, încă din fazele preliminare de evaluare, suprafețele prin care se disipează fluxurile termice majore și cu care se pot stabili grosimile straturilor suplimentare de termoizolație care conduc la obținerea unor performanțe cât mai apropiate de cele ale clădirii de referință.
- 4. Aplicarea metodei termografice pentru investigarea fațadelor clădirilor din panouri mari existente este deosebit de utilă pentru aprecierea procentului de punți termice care trebuie corectate dar utilizarea acestei metode nu trebuie făcută la întâmplare ci pe baza unor cunoștințe dobândite prin specializare și studiu, iar interpretarea imaginilor termografice trebuie făcută cu grijă și cu știință pentru a nu conduce la concluzii eronate.
- 5. Clădirile de locuit din panouri mari prezintă o mare diversitate din punct de vedere a alcătuirii panourilor de fațadă, funcție de perioada în care au fost construite, caracterizată printr-o anumită etapă în evoluția acestui sistem constructiv.
- 6. Clădirile din panouri mari pe lângă punțile termice din dreptul îmbinărilor, au un procent mare de punți termice în interiorul panourilor prefabricate care nu pot fi corect apreciate decât printr-o cunoaștere aprofundată a principiilor de proiectare, alcătuire și execuție a acestora.
- 7. Documentația existentă nu oferă informațiile necesare pentru o analiză higrotermică a anvelopei în conformitate cu realitatea, multe aspecte esențiale rămânând la aprecierea auditorului energetic. Aceasta poate conduce la diferențe semnificative între performanța energetică a unor apartamente sau clădiri similare, dacă evaluarea a fost făcută de persoane diferite.
- 8. Termografia IR aduce un plus de precizie relativ la ponderea punților termice, dar nu poate fi utilizată pentru fiecare certificat de apartament, dacă luăm în considerare numai faptul că ar trebui să crească semnificativ prețurile corespunzătoare acestei activități (actualmente foarte scăzute).
- 9. În aceste condiții elaborarea unui material unitar, sub forma unui „ghid” sau „îndrumător” care să ofere niște criterii precise și ușor de apreciat, pe baza cărora să poată fi identificat proiectul tip după care a fost realizată clădirea și implicit structura panourilor de fațadă, ar conduce la eliminarea discrepanțelor în evaluarea performanței energetice a apartamentelor și blocurilor de locuințe similare, constituind un instrument deosebit de util în special auditorilor energetici care nu sunt arhitecți sau ingineri constructori. Obligativ, materialul ar trebui să conțină valorile coeficienților de transfer termic linear corespunzători tuturor tipurilor de punți termice identificate.

Referințe

1. *** Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor, indicativ C107-2005, aprobat prin ordin MTCT nr. 2055 din 29 noiembrie 2005 în MO nr. 1.124 bis din 13 decembrie 2005.
2. *** Ordin MDRT nr. 2513 din 22 noiembrie 2010, privind modificarea reglementării tehnice indicativ C107-2005, publicat în MO partea I nr. 828 din 8.XII.2010.

Experimental Assessment of the Indoor Environmental Quality in an educational facility*

Tiberiu Catalina¹, Vlad Iordache¹, Andrei Ene¹

¹Technical University of Civil Engineering, Faculty of Building Services Engineering, CAMBI Advanced Research Center.

Bd. Pache Protopopescu, no.66, Zip code 021414, Bucharest, ROMANIA

E-mail: viordach@yahoo.com, tiberiu.catalina@gmail.com

Abstract. *A good indoor environmental quality in educational facilities is important for student's performance, will reduce health problems and absenteeism. Using a detailed experimental campaign we have evaluated the thermal, acoustic, visual comfort and air quality. Air temperature, CO₂ levels, relative humidity, sound pressure levels and daylighting illuminance were recorded and analyzed. It was found that the air temperature during winter period is around 21°C while the CO₂ levels were in acceptable range of 600÷800 ppm. The background sound pressure levels were also in acceptable range with values below 40 dB(A). During this winter cloudy day the illuminance levels from daylighting were measure to be arround 100 lux. It is concluded that the analyzed building offers an acceptable environment for the students.*

Key words: indoor environmental quality, educational facility, experimental measurements

1. Introduction

Nowadays the concept of an acceptable indoor environmental quality (IEQ) as an integral part of the total building performance approach is still not fully studied. It is clear that physical environmental parameters such as air temperature, sound pressure level, relative humidity, CO₂ levels, and luminance levels are all interrelated, and the feeling of comfort is a mixed state of the occupant's that respond to these factors [1–4]. Many studies showed that an occupant's acceptance of an environment is influenced by many environmental parameters [5]. The indoor environmental quality can be divided in four basic components: thermal comfort, indoor air quality, aural and visual comfort. Conventional studies on indoor environment address each of them separately but the approach should be done by studying them together. As mentioned before, the parameters are connected. For example it was reported that at for an operative temperature between 23°C and 29°C, each degree Celsius change would associate the same effect on human comfort with a change in noise level of 3.9 dB [6].

* Lucrare inclusă în programul conferinței "Romanian Conference on Energy Performance of Buildings (RCEPB 2013)"

The sick building syndrome (SBS) [11] appears in unacceptable indoor environments. There are several studies [5–9] on the occupants' attitudes towards the air temperature, CO₂ concentration, equivalent noise level and illumination level by various means: surveys and measurements. There are only few research studies on the educational facilities and the IEQ assessment. There is clear evidence that a good IEQ can help the learning process of students and in many cases improving its attributes can also reduce energy use [10]. Moreover a good environment can change the teacher and student performance [11]. In this article we want to check the indoor environmental quality in an educational facility by means of experimental measurements. This expertise can help us understand what the indoor air quality is and what the problems to be solved are.

2. Field measurements

The aim of this part of the campaign was to measure the actual indoor thermal comfort conditions and indoor air quality (IAQ) during a weekday. For this purpose, we have used portable data loggers for the following parameters: the indoor air temperature ($\pm 0.3^\circ\text{C}$ accuracy), the relative humidity ($\pm 2\%$ accuracy), sound pressure level (± 2 dB(A) accuracy), CO₂ concentration (± 50 ppm accuracy) and luminance level ($\pm 3\%$ accuracy). These parameters were measured with five separate meters. These measurements were taken between 09:00 am and 13:00 pm during a winter day. The heating system was on and it was functioning in normal parameters. All these measurements were realized in an educational Facility (Faculty of Building Services Engineering). The building architecture and a satellite view (see Figure 1) visually describe the studied building. The studied zones are mainly classrooms and only a part of them are exposed to the traffic noise from Bd. Pache Protopopescu. The classrooms windows are exposed to East and West orientation. The building is composed of four floors but we were interested mainly by the last three as these areas are used as classrooms.

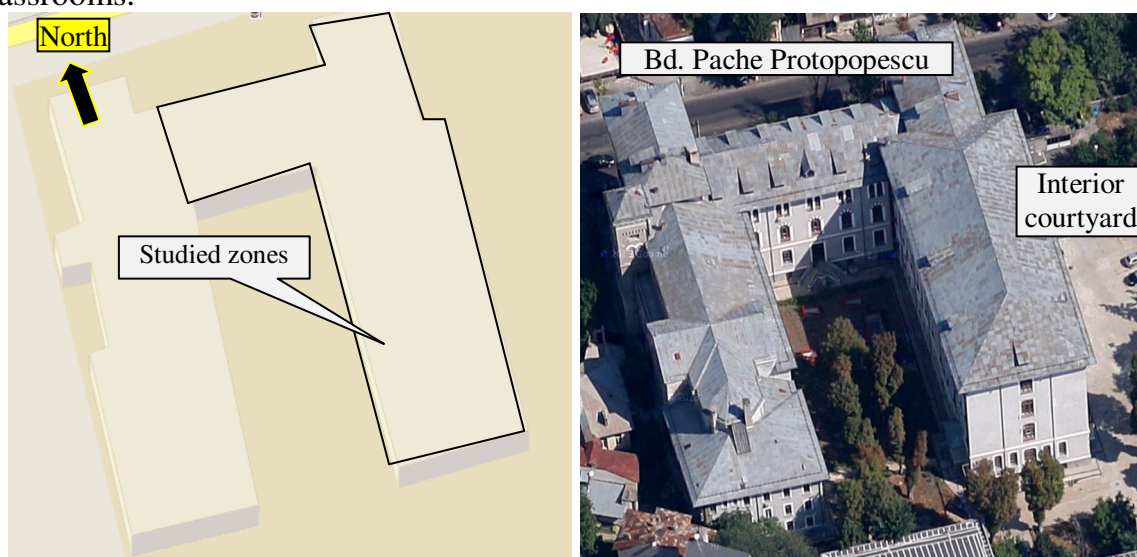


Fig. 1. Faculty of Building Services Engineering (photos source: Google Maps)

3. Experimental results

After the analysis of the taken measurements for the three floors and for all the spaces we were able to realize 3D plots for each measured parameter.

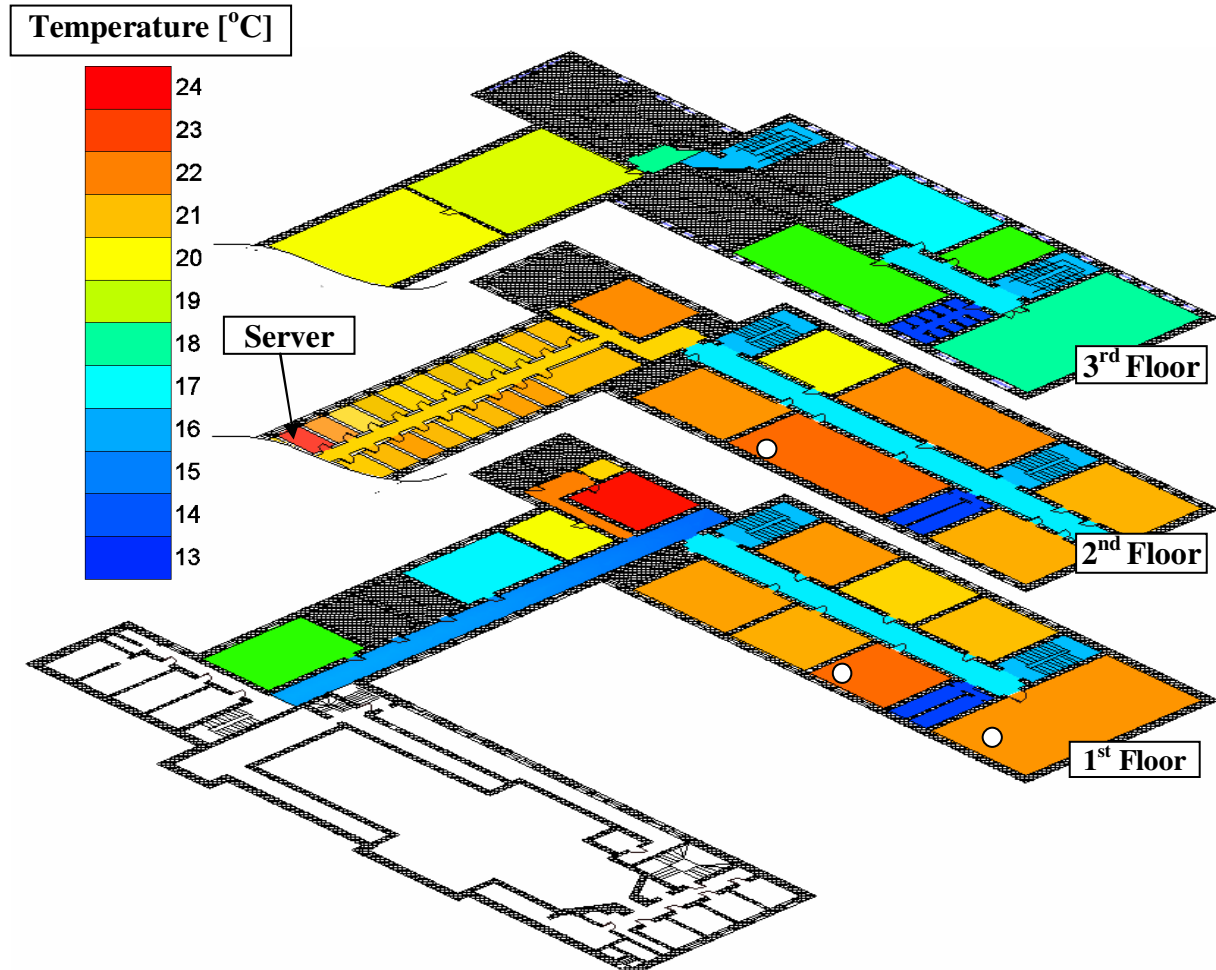


Fig. 2. Air temperature 3D plot for different zones of the building

The air temperature is probably the most important indoor parameter that can change the well being of occupants. In Romania, the indoor set point temperature is usually of 20°C, this being also the heating system design temperature. As it can be noticed from Figure 2 in most of the classrooms the air temperature is higher than 20°C, with a mean value of 21°C. In Figure 2, with white dots, we pointed out the classrooms that were occupied just before the measurements. The heat gains from the occupants influenced the air temperature with at least 1°C. The red zone for the first floor corresponds to the administration room and the value of 24°C is explained by the high amount of internal gains (computers, printers, lighting). The same explanation is done for the red zone of the second floor, this zone being the server room. The air temperature of the corridors and toilets has the smallest values (13°C to 17°C). The explanation is due to the high amount of fresh air entering these areas. We remind that

the outside temperature during the measurements was of -5°C . There is one specific classroom where is chilly with a value of 17°C (see 1st Floor). This is explained by the higher amount of air infiltration and old heating radiators that do not have a uniform temperature. The air temperature for 3rd floor classrooms is around 19°C , explained by the higher amount of heat loss surfaces. These zones are in contact with the attic which is a non-heated space and without insulation. In the black hatch areas we did not have access to do the measurements, however those areas are not classrooms and therefore our conclusions on the educational environment were not affected.

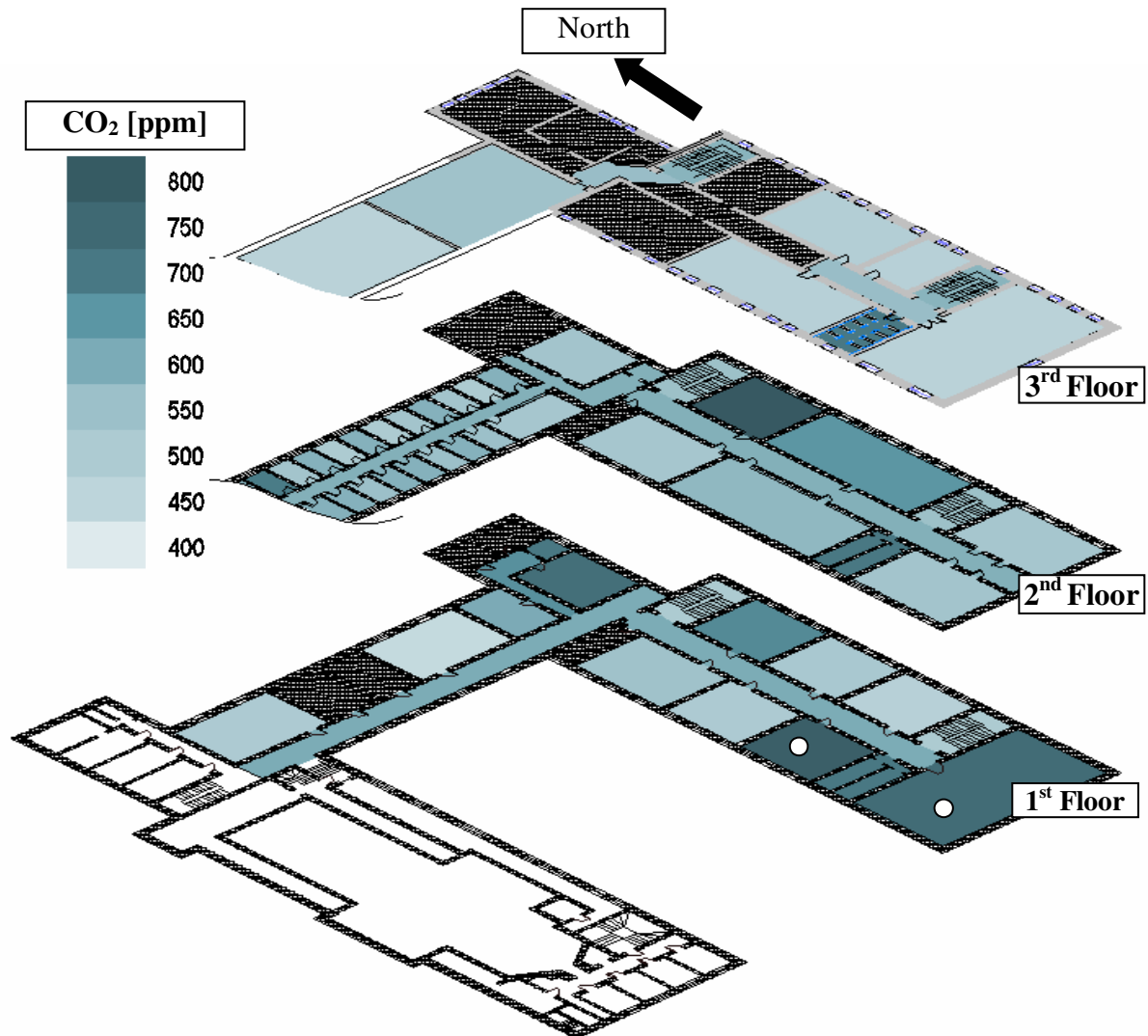


Fig. 3. CO₂ concentration 3D plot for different zones of the building

Carbon dioxide is a normal constituent of exhaled breath from the occupants. The carbon dioxide level is usually greater inside a building than outside, even in buildings with few complaints about indoor air quality. If there is no ventilation system or the air infiltration is not sufficient, then the indoor carbon dioxide levels may be higher than 1,000 ppm and complaints such as headaches and fatigue may be common. Normally,

the acceptable levels should be less than 600 ppm. For the studied building (see Figure 3) only in few classrooms the concentration level is higher than 600 ppm. The risk of fatigue may appear in these areas as the values are close to 800 ppm. With white dots are represented the zones occupied by students before the measurements and explain these higher values. The building does not have mechanical ventilation and only the air infiltrated from the windows contributes to a good indoor air quality.

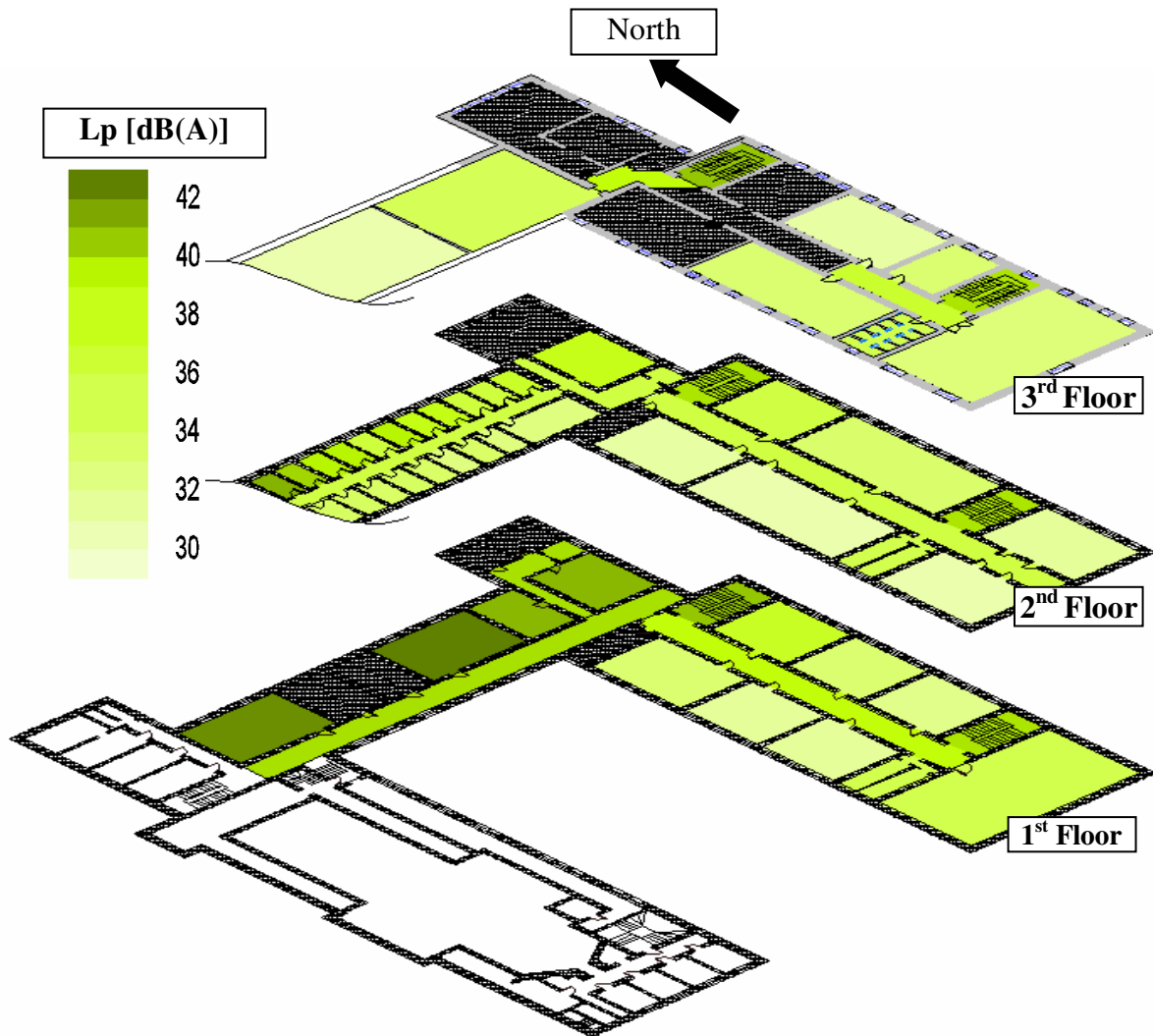


Fig. 4. Sound pressure level 3D plot for different zones of the building

The noise can greatly contribute to the normal learning activities inside an educational facility. Most of the classrooms of the studied building are facing internal courtyards and the sound pressure levels (L_p) are lower than 40 dB(A) which is an acceptable level. The highest measured values were found for the classrooms from 1st floor and which are exposed to the noise traffic. The fenestration of these areas is composed of two simple glazing windows and is not air sealed. The measurements were taken

during a week day and the traffic was in normal limits. It is possible that during the day to have peak points when the sound pressure levels are higher than 45 dB(A).

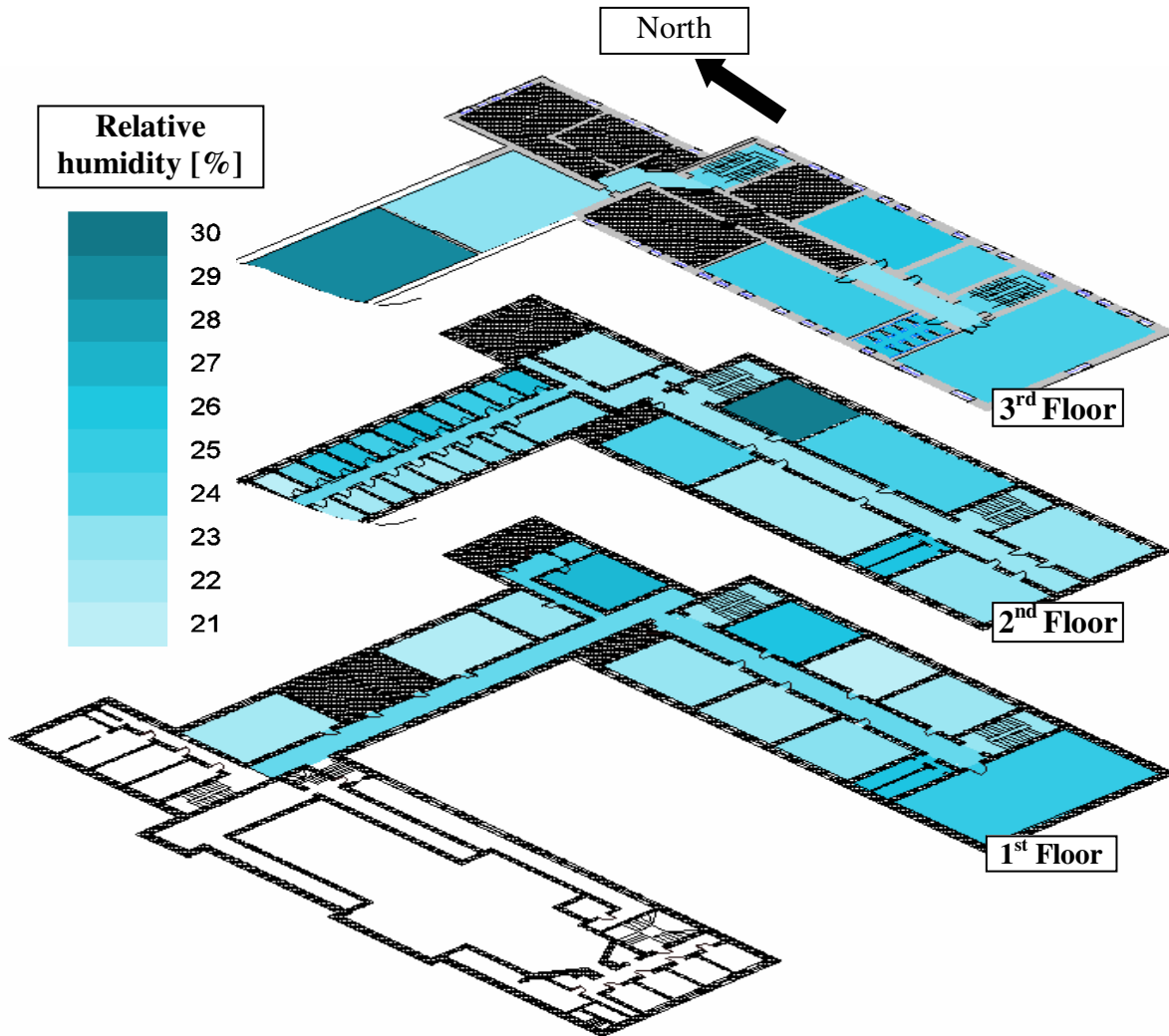


Fig. 5. Relative humidity 3D plot for different zones of the building

There is no “perfect” humidity level and temperature suitable for all the occupants. Among the indoor environment factors there are other, such as personal activity and clothing may affect personal comfort. Acceptable relative humidity levels should range from 20 percent to 60 percent year-round. Figure 4 illustrates the relative humidity measurements. The maximum measured level is 30% while the minimum is recorded in the administration zone which seems logic since the air temperature has the highest value (24°C).

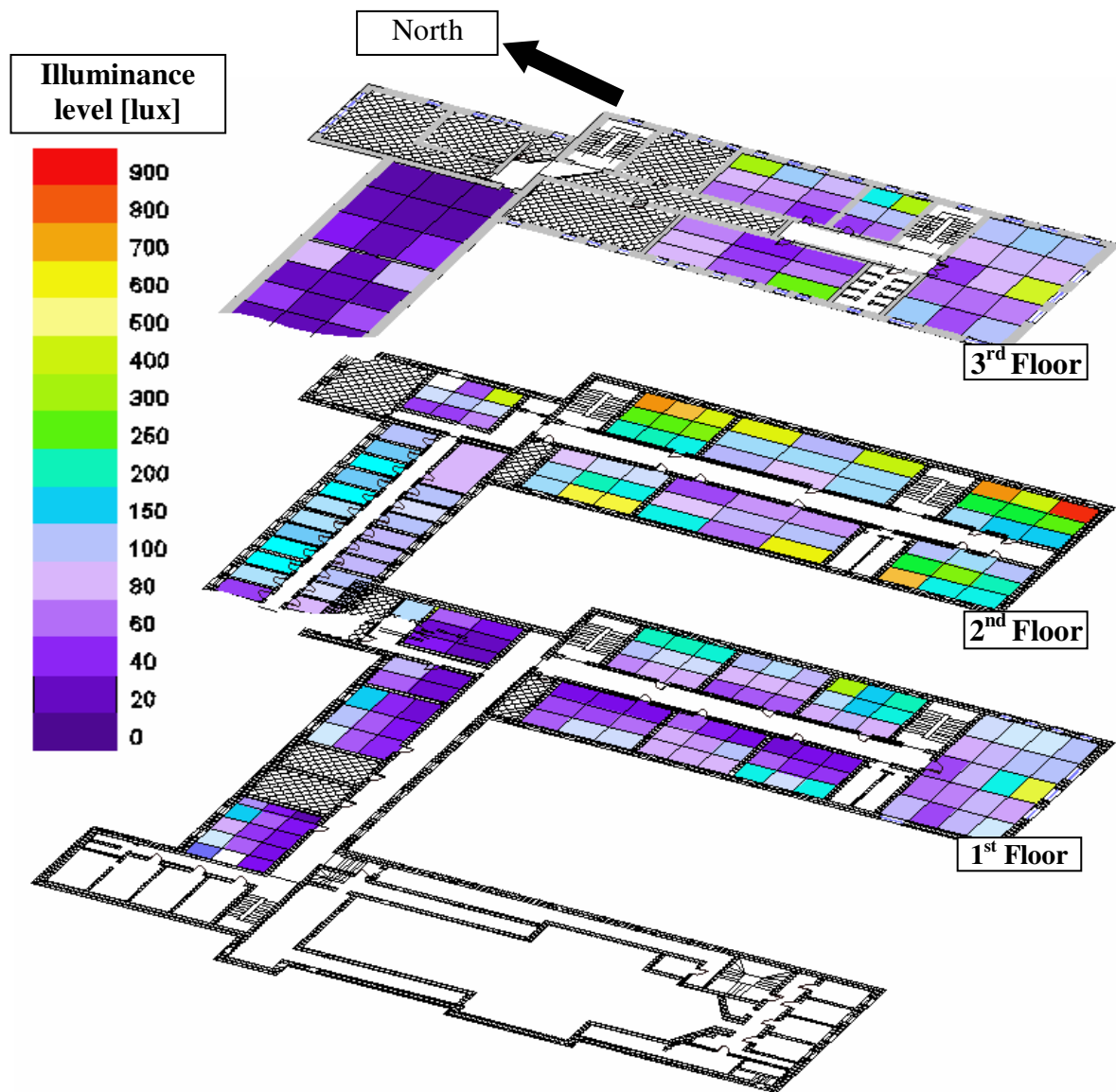


Fig. 6. Illuminance levels 3D plot for different zones of the building

The daylighting illuminance levels are illustrated in Figure 6. The measurements were done under cloudy sky during December for a period of 3-4 hours. In each classroom there were taken 9 measurements of illuminance. These levels were measured directly on the student's tables. It can be observed that the classrooms facing North have lower illuminance levels compared to the ones orientated East. In most of these spaces the indoor visual comfort is not achieved only using the daylighting and the need of an electrical lighting system is mandatory.

6. Conclusions

The Indoor environmental Quality was verified in an educational facility using measurements. In all the classrooms there were taken measurements of air

temperature, CO₂, relative humidity, sound pressure level and illuminance. In most the indoor spaces the air temperature is higher than the designed temperature (20°C) with at least 1°C. The CO₂ levels were in acceptable range (600÷800 ppm), probably due to high fresh air infiltrations from the windows. The noise levels were below 40 dB(A) which is translated by a good acoustics. The illuminance levels from daylighting were found to be not enough to ensure a good visual comfort. The mean values of daylighting were around 100 lux.

Acknowledgements

This work was supported by a grant of the Romanian National Authority for Scientific Research, CNCS – UEFISCDI, project number PN-II-RU-TE-2012-3-0108. and PN-II-RU-TE-2011-3-0209.

References

- [1] Feist W., Schinieders J., Dorer V., Haas A., Re-inventing Air heating: Convenient and Comfortable Within the frame of the Passive House Concept, Energy and Buildings, Volume 37, Year 2005, Pages 1186-1203
- [1] Goldman RF. Extrapolating ASHRAE's comfort model. HVAC&R Research 1999;5(3):189–94.
- [2] Haghighat F, Donnini G. Impact of psycho-social factors on perception of the indoor air environment studies in 12 office buildings. Building and Environment 1999;34:479–503.
- [3] Mendell MJ. Indices for IEQ and building-related symptoms. Indoor Air 2003;13(4):364–8.
- [4] Nagano K, Horikoshi T. New comfort index during combined conditions of moderate low ambient temperature and traffic noise. Energy and Buildings 2005;37:287–94.
- [5] Mui KW, Chan WT, Burnett J. The use of an indoor environmental quality logger for Hong Kong building environmental assessment in office buildings, urban pollution control technology. In: Poon CS, Li XZ, editor. Proceedings of international conference on urban pollution control technology 1999, October 13–15, Hong Kong, China, p. 615–22.
- [6] Fanger PO. Olf and decipol: new units for perceived air quality. Building Services Engineering Research and Technology 1988;9:155–7.
- [7] Houser KW, Tiller DK. Measuring the subjective response to interior lighting: paired comparisons and semantic differential scaling. Lighting Research Technology 2003;35(3):183–98.
- [8] ISO 1994 International Standard 7730–1994. Moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, International Standard Organization, Geneva, Switzerland.
- [9] Wong LT, Leung LK. Minimum fire alarm sound pressure level for elder care centres,. Building and Environment 2005;40(1):125–33.
- [10] ASHRAE Advanced Energy Design Guide for K-12 School Buildings, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, 2008, available from <http://www.ashrae.org/aedg>.
- [11] C. Eley, High performance school characteristics, ASHRAE Journal 48 (5) (2006) 60–66.

Analiza performanțelor energetice ale clădirilor din Republica Moldova, un deziderat important în contextul actual al reducerii consumurilor de resurse energetice și a impactului asupra mediului înconjurător*

Analysis of energy performance of buildings in Republic of Moldova, a important goal in the present context of reducing energy consumption and environmental impact

Constantin Țuleanu¹, Andrei Bînzari², Elena Nicolaev³

Universitatea Tehnică a Moldovei
Bd. Ștefan Cel Mare 168, Republica Moldova

¹E-mail: ctuleanu@mail.ru

²E-mail: binzariandriacgv@yahoo.com

³E-mail: elenanicolaev@rambler.ru

Rezumat. Creșterea costului resurselor energetice, degradarea calității mediului și dependența față piața externă a purtătorilor de energie reprezintă argumentele esențiale în promovarea politicilor naționale în domeniul eficienței energetice a clădirilor. Lucrarea prezintă obiectivele înaintate prin strategiile și programele de eficiență energetică precum și evoluția gradului de protecție termică a clădirilor din Republica Moldova. O secțiune aparte prezintă rezultatele studiilor de caz a performanțelor energetice a unor clădiri construite la diverse etape până și după reabilitarea termoenergetică.

Cuvinte cheie: nota energetică, scala de eficiență energetică, indice de emisii.

Abstract. Increasing energy costs, environmental degradation and dependence on foreign markets of energy carriers is essential arguments in promoting national policies on energy efficiency of buildings. This paper presents the objectives put forward by energy efficiency strategies and programs and the evolution of the thermal protection of buildings in Republic of Moldova. A special section presents the results of case studies energy performance of buildings constructed at various stages before and after energy rehabilitation.

Key words: Energy note, scale energy efficiency, emission index.

1. Introducere

Omenirea a trecut, pe parcursul evoluției, prin mai multe crize energetice, însă în ceea ce privește eficiența energetică a clădirilor, în modul cel mai categoric

* Lucrare inclusă în programul conferinței "Romanian Conference on Energy Performance of Buildings (RCEPB 2013)"

majoritatea organismelor internaționale au fost nevoite să-și schimbe atitudinea și conceptul, urmărind scopul reducerii consumului de energie în diverse sfere de activitate umană, după criza energetică din 1973.

Prin adoptarea și aplicarea programelor concrete de reabilitare termoelectrică a clădirilor și modernizare a instalațiilor aferente lor, s-au atins performanțe destul de serioase care au permis reducerea semnificativă de peste 2,5 ori a consumului specific de căldură pentru încălzirea și prepararea apei calde de consum.

Centrele științifice din lume preocupate de eficiența energetică a clădirilor, prognozează de la soluționarea problemelor legate de performanțele energetice a clădirilor și instalațiilor aferente acestora, pentru următorii cel puțin 20 ani, o economie de energie în clădiri de peste 40% din energia finală.

În rațiunea noastră pentru Republica Moldova este o cifră reală, care poate fi atinsă prin adoptarea și aplicarea programelor concrete de reabilitare termoelectrică a clădirilor și modernizare a instalațiilor aferente lor.

Pentru Republica Moldova abordarea și soluționarea problemelor legate de eficiența energetică a clădirilor este condiționată de:

- lipsa resurselor energetice proprii, ceea ce condiționează satisfacerea necesarului în resurse energetice prin importul acestora de pe piața externă a purtătorilor de energie;
- creșterea permanentă a tarifelor la energie;
- existența unui fond major de clădiri și edificii, construite la diferite etape pe baza diverselor soluții structurale și arhitecturale cu performanțe energetice reduse;
- asigurarea confortului termic și igienico - sanitar pe baza instalațiilor aferente cu randamente foarte scăzute.

2. Evoluția gradului de protecție termică în Republica Moldova

În perioada urbanizării intensive din fosta U.R.S.S., pe când accetul principal se punea pe majorarea în permanență a volumelor de construcții, normativele aplicate (SNiP II-3-79 și alt.) la calculele termotehnice a elementelor de anvelopă, impuneau un grad de protecție termică destul de scăzut (vezi tab. 1). Lucru evident deoarece în fața industriei de construcție pe acele timpuri, se punea problema de a se construi rapid, calitativ și fiabil, dar cu economisirea resurselor materiale.

Deaceia, o atenție principală se acorda performanțelor mecanice a elementelor de construcție plasându-le pe planul doi pe cele termoelectrice, strategie explicabilă pentru perioada sovietică de dezvoltare, deoarece se dispunea de resurse energetice suficiente iar prețurile la energie erau destul de reduse.

După proclamarea independenței și trecerea la economia de piață, Republica Moldova care nu dispune de resurse energetice proprii, s-a dovedit într-o dependență totală de piața externă a purtătorilor de energie și cu un fond major de clădiri cu performanțe energetice reduse. Aceste circumstanțe au condiționat creșterea prețurilor la resursele energetice și ca consecință a tarifurilor pentru energie.

Analiza performanțelor energetice ale clădirilor din Republica Moldova, un deziderat important în contextul actual al reducerii consumurilor de resurse energetice și a impactului asupra mediului înconjurător

Este evident că în astfel de situații intervine ca soluție necesitatea revederii judicioase a normativelor tehnice care reglementează performanțele termoeenergetice a elementelor de anvelopă, prin verificarea mai exigentă a gradului de protecție termică a acestora. Un progres în acest context intervine odată cu publicarea normativului **NCM G. 04.02-99**, care impune un grad de protecție majorat cu aproximativ 70 % (tab. 1). La moment gradul de protecție termică a elementelor de anvelopă se reglementează prin prevederile normativului **NCM E. 04.01-2006** (tab. 1).

Tabelul 1

Rezistențele termice nomative aplicate pentru clădiri

Element de anvelopă	Rezistența termică $R, m^2 \cdot K/W$					
	SniP II-3-79		NCM G.04.02-99		NCM E.04.01-2006	
	Clădiri locative, medicale, școli și grădinițe	Clădiri publice, administrative, auxiliare	Clădiri locative, medicale, școli, grădinițe	Clădiri publice, administrative, auxiliare	Clădiri locative, medicale, școli, grădinițe	Clădiri publice, administrative, auxiliare
Pereți	0,79..0,84	0,96...0,51	2,3 .. 2,8	2,0 .. 2,4	2,1 .. 2,8	1,8 .. 2,4
Acoperiș și planșeie peste pasaje	1,2...1,26	0,96...0,51	3,4 .. 4,0	2,7 .. 3,2	3,2 .. 4,2	2,4 .. 3,2
Planșeie de pod și peste spații neîncălzite	0,96...0,51	0,96...0,51	3,0 ..3,6	2,3 ..2,7	2,8 .. 3,7	2,0 .. 2,7
Ferestre, uși de balcon și vitraje	0,18... 0,53	0,15..0,48	0,42	0,39	0,3.. 0,45	0,3 .. 0,4
Luminatoare cu vitraj vertical	0,15..0,48	0,15..0,48	0,3	0,28	0,3.. 0,35	0,3.. 0,35

3. Previziuni strategice naționale în domeniul Eficienței Energetice

Unul din obiectivele prioritare a Strategiei Naționale de Dezvoltare „Moldova 2020” este - *diminuarea consumului de energie în diverse sfere de activitate umană prin sporirea eficienței energetice a clădirilor și valorificarea surselor regenerabile de energie.*

O abordare obiectivă orientată spre asigurarea unei alimentari continue, fiabile și în deplină siguranță a consumatorilor cu energie, la prețuri minime și cu respectarea condițiilor de protecție a mediului, poate fi adoptată numai în baza analizei judicioase a evoluției și prognozei consumurilor de energie și resurse energetice.

În baza analizei exigente a consumurilor de resurse energetice și energie din ultimii 10 ani, prin Planul de Acțiuni al Guvernului Republicii Moldova aprobat pentru anii 2012-2015 au fost trasate *obiectivele generale* privind eficientizarea sectorului energetic, care prevăd:

- asigurarea securității energetice și promovarea eficienței energetice în toate sectoarele economiei naționale;
- creșterea eficienței energetice a clădirilor în mediu cu 1,8 – 2 % anual;

- dezvoltarea sectorului construcțiilor și promovarea tehnologiilor moderne în domeniu.
- Obiectivele specifice în acest domeniu impuse spre realizare prevăd:*
- Promovarea activităților de conservare a energiei în clădiri prin - școlarizarea și autorizarea auditorilor energetici, elaborarea rapoartelor de audit energetic și a certificatelor de performanță energetică pentru clădiri; implementarea măsurilor de reabilitare termoeenergetică a clădirilor și modernizare a instalațiilor aferente pentru crearea confortului ambiental.
 - Crearea infrastructurii în domeniul performanței energetice a clădirilor prin elaborarea programului electronic pentru calcularea performanței energetice a clădirilor, crearea sistemului electronic de înregistrare centralizată a certificatelor de performanță energetică a clădirilor.
 - implementarea proiectelor de eficiență energetică și de valorificare a surselor de energie regenerabilă pentru clădiri publice;
 - reglementarea privind etichetarea energetică a produselor cu impact energetic;
 - asigurarea viabilității și posibilității de dezvoltare a sistemului termoeenergetic prin restructurarea economică, instituțională și tehnică a acestuia;
 - sporirea eficienței energetice în toate domeniile economiei naționale;
 - elaborarea strategiei de dezvoltare a sectorului construcțiilor;
 - susținerea producerii materialelor de construcție în conformitate cu standardele europene;
 - facilitarea implementării inovațiilor și tehnologiilor noi în construcții, prin reformarea sistemului de reglementare tehnică a construcțiilor și implementarea standardelor de performanță în construcții.

Programul Național pentru Eficiența Energetică 2011-2020 prevede un ansamblu de măsuri, direcționate spre toate sectoarele economiei naționale, care în esență reflectă prevederile Directivelor Europene în domeniul eficienței energetice și a surselor de energie regenerabilă, printre care regăsim dezideratele:

- crearea pieței serviciilor energetice;
- crearea mecanismelor de sprijin și stimulare;
- etichetarea produselor cu impact energetic;
- proiectarea ecologică;
- stabilirea cerințelor minime de performanță energetică pentru clădiri;
- promovarea cogenerării etc.

În scopul reducerii dependenței de importul de resurse energetice și a impactului sectorului energetic asupra schimbărilor climatice, prin Planul Național de Eficiență Energetică (PNEE) se urmăresc următoarele obiective de bază:

- eficientizarea consumului global de energie primară până în 2020 cu 20 % ;
- reducerea către anul 2020 (comparativ cu 1990), cu cel puțin 25 %, a emisiilor de gaze cu efect de seră.

Vom remarca că obiectivele strategice legate de eficientizarea consumurilor de energie și resurse energetice se realizează prin diverse programe și strategii implementate la nivel național, vezi tab. 2:

Tabelul 2

Obiectivele promovate în cadrul strategiilor și programelor naționale

Nr. Crt.	Strategia/programul	Previziuni în % 2015	Previziuni în % 2020
1	Programul Național pentru Eficiență Energetică (PNEE) Eficientizarea consumului global de energie primară (an de referință 2009) Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, comparativ cu 1990		20 25
2	Strategia națională de dezvoltare 2020 Reducerea intensității energetice Reducerea pierderilor de energie electrică în rețelele de transport și distribuție Reducerea pierderilor de gaze naturale electrică în rețelele de transport și distribuție Reducerea pierderilor de energie termică în rețelele de transport și distribuție Reducerea emisiilor GES (față de 1990) Reducerea consumului de energie în clădiri Pondere clădirilor publice reabilitate	13 20 2	10 11 39 5 25 10 10
3	Strategia națională de dezvoltare 2020 Reducerea intensității energetice Reducerea pierderilor de energie electrică în rețelele de transport și distribuție Reducerea pierderilor de gaze naturale electrică în rețelele de transport și distribuție Reducerea pierderilor de energie termică în rețelele de transport și distribuție Reducerea emisiilor GES (față de 1990) Reducerea consumului de energie în clădiri Pondere clădirilor publice reabilitate	13 20 5	10 11 39 2 20 20 10

4. Analiza unor studii de caz privind performanțele energetice a clădirilor

Planul Național de Acțiuni în domeniul Eficienței Energetice (PNAEE) promovat în Republica Moldova, a condiționat organizarea unor studii ample în ceea ce privește performanța energetică a clădirilor publice din țară. Rezultatele studiilor efectuate în cadrul acestor acțiuni pentru grădinițe de copii, instituții curative și de învățământ, demonstrează performanțe energetice scăzute pentru clădirile reale ceea ce nu putem constata pentru clădirile supuse reabilitării termoenetice (vezi tab. 3).

Tabelul 3

Indici de performanță pentru clădiri publice reale

Destinația clădirii	Consum anual specific de energie $kWh / m^2 an$		Indicele de emisii echivalent $CO_2 \text{ } kg_{CO_2} / m^2 an$		Scala de eficiență energetică		Nota energetică	
	Reală	Reabilitată	Reală	Reabilitată	Reală	Reabilitată	Reală	Reabilitată
Grădiniță	592,2	78,3	169	46	F	A	20	100
Instituție de învățământ superior	383,4	210,7	78	36	D	B	57,9	82,5
Instituție curativă	602,7	225,9	120	43	F	C	20	64,5
Grădiniță	509,8	236,5	117	51	E	C	23,1	59,2
Liceu	309,7	166,6	71	36	D	B	52,1	80,5
Grădiniță	615,3	241,2	143	54	F	C	20	57,3

Dacă comparăm consumurile specifice de energie prezentate în tabelul 3, pentru clădirile reale și cele reabilite, putem observa o evidentă economie de energie care poate fi valorificată prin promovarea programelor concrete de reabilitare termoeenergetică a elementelor de anvelopă, obținându-se simultan și o reducere semnificativă a emisiilor de gaze cu efect de seră.

5. Concluzii

Analiza judicioasă a performanțelor energetice pentru clădiri, reprezintă un deziderat important în contextul actual al reducerii consumurilor de resurse energetice și a impactului asupra mediului. Din rezultatele studiului de caz pentru diferite categorii de clădiri, putem concluziona că există rezerve apreciabile în ceea ce privește potențialul de conservare a energiei și de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră.

În acest context se cere de a conștientiza la promovare politicilor de eficiență energetică, importanța acestor problematici nu numai de factorii de guvernare dar și de consumatori, pentru a condiționa o valorifica cât mai efectivă a acestui potențial de conservare a energiei.

6. Bibliografie

- [1] СНиП II-3-79 Строительная теплотехника. Москва 1979.
- [2] NCM G.04.02 – 1999. Termotehnica construcțiilor. Ediție specială. Ministerul Dezvoltării Teritoriului, Construcțiilor și Gospodăriei Comunale al Republicii Moldova. Chișinău 1999.
- [3] NCM E.04.01 – 2006 Protecția termică a clădirilor. Normativ în construcții. Ediție specială. Agenția construcții și dezvoltare a teritoriului a Republicii Moldova. Chișinău 2007.

Heat and mass transfer modeling in desiccant wheel dehumidifiers*

Razvan Popescu ⁽¹⁾, Lelia Popescu ⁽¹⁾

⁽¹⁾Technical University of Construction, Faculty of Building Services of Bucharest,
Pache Protopopescu 66, Bucharest, Romania
e-mail: razvan22@yahoo.com

Abstract: *Desiccant cooling systems are an alternative to classical air conditioners with mechanical compression. This technique is refrigerant free and uses a small amount of electricity. A model of a desiccant wheel has been developed to be adapted to ventilation systems of buildings. This model is focused on pollutant adsorption by desiccant material compared to many other studies found in the literature which are interested in only water vapor adsorption. It's an approach that can be applied in heavily polluted urban areas, where there are high levels of outdoor concentrations. The model describes heat and mass transfer partial differential equations, implemented in Matlab/Simulink simulation tool. A multicomponent model accounting for the competition between water vapor and pollutant is used in the simulations.*

Keywords: desiccant wheel, adsorption, ventilation, IAQ

1. Introduction

In the context of climatic changes and continuously increasing prices of conventional energy in the last period of time, reducing the energy consumption of buildings by maintaining good indoor conditions and comfort, is the aim of building designers.

Solar energy is used for space heating, hot water production, and thermally driven air-conditioning systems, including desiccant cooling installations. It's an interesting technique compared to vapor compression systems, and nevertheless a low environment impact cooling process, because of a small amount of energy needed. Because the cooling process can be driven by low temperature industrial waste, heat or solar energy, the interest for this technique is increasing, especially in humid regions. Desiccant material remove moisture from the airflow until an equilibrium is reached inside. To be desorbed, the desiccant should be heated at a temperature ranging from 60 to 90 °C, by exposing to the regenerative air stream, or exhaust air flow. The sources of thermal energy needed to remove moisture are diverse: solar, natural gas, industrial waste, geothermal. This energy can influence the coefficient of performance of the cooling machine (COP). In fact this is the mains disadvantage having a COP raging from 0.8 to 1 (the COP is defined as the space cooling load divided by thermal energy required for regeneration).

The wheel is the most crucial component of the desiccant cooling system. That's the reason why the mathematical modeling plays an important role by enhancing the overall

* Lucrare inclusă în programul conferinței "Romanian Conference on Energy Performance of Buildings (RCEPB 2013)"

system performance. An interesting review over different models to predict the behavior of rotary desiccant wheel is proposed by Ge et al.[1]. The optimum rotation speed and operating parameters such as air flow rate, relative humidity of inlet air and regeneration air temperature on the wheel performance have all been studied and examined by Zhang and Niu [5] and Zhang et al., [6]. An interesting study is presented by Nia et al. [7] using the same simulation tool, Matlab/Simulink, presenting governing mass and heat transfer equations as well as correlations to reduce the computation time for yearly simulations. Zheng and Worek [8] studied the effect of rotary speed on the performance of the wheel and used finite differential method for simulation. Kodama et al. [9] also proposed an optimization of a rotary desiccant wheel using psychometric charts.

The objective of this paper is to develop a mathematical model and to present the results for heat and mass transfer for a honeycomb rotary desiccant wheel. The numerical solutions require significant computational time for the coupled nonlinear heat and mass transfer equations (there are similarities to other studies like Popescu et al. [2], Blondeau et al. [3], where activated carbon is used as adsorbent). The novelty of the paper consists in modeling the mixture between ethanol and water vapor, on the same desiccant material, considering competition between the two species. The focus is put on the behavior of ethanol and on the ability of the adsorbent to reduce the pollutant's concentration indoors, thus improving IAQ.

2. Governing equations

The dehumidifier is a cylindrical wheel with length L and radius R , with a honeycomb which walls are adhered with desiccant adsorbent. For simplicity reasons, the wheel is divided into two equal parts: the adsorption section and the regeneration one. The schematic representation is presented below, in Figure 1.

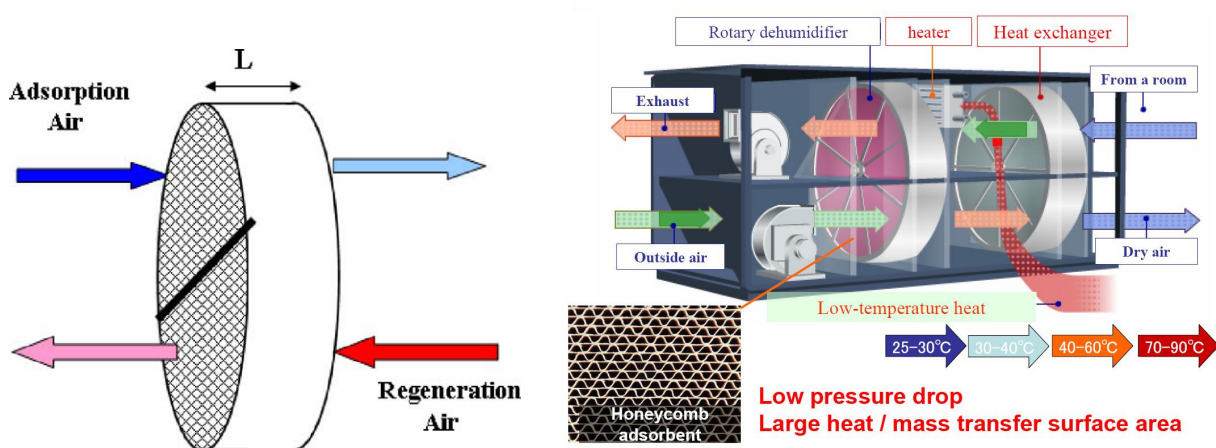


Figure 1: Desiccant wheel representation and typical configuration of desiccant cooling from an air handling unit (AHU)

The heat and mass transfer, of pollutant and water vapor, in a honeycomb desiccant wheel, can be modelled in the following ways:

-by asimilating the structure with a flat plate having a surface equal to the total surface of adsorbant in contact with the passing air flow (either the surface of a cell multiplied witch the number of cells), witch a length equal with the half thickness of the cell, because in reality it's a simetry plane in the transfer of mass and heat;

-using tanks in series method, by connecting elementary cells to represent the temperature and concentration gradient longitudinally speaking.

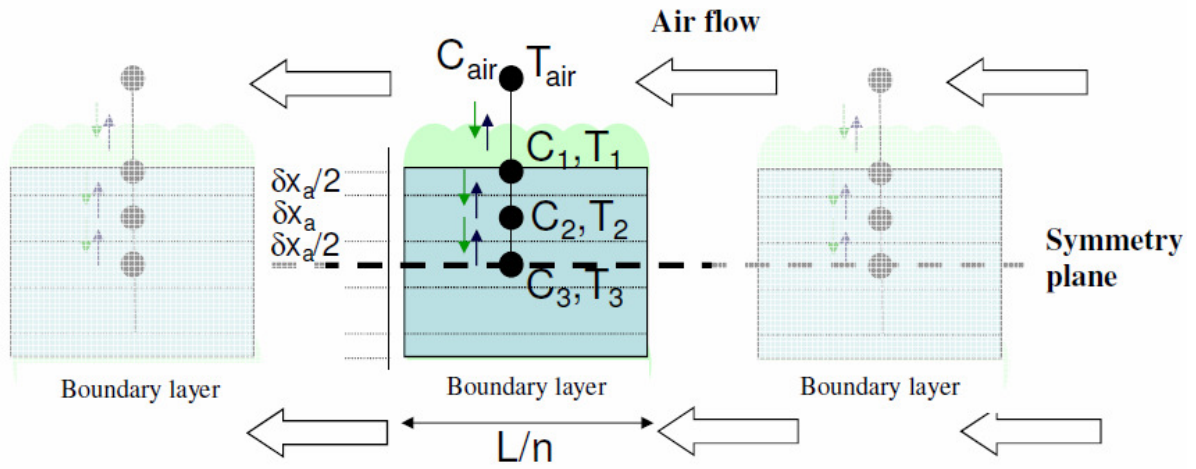


Figure 2: Representation of the discretisation of heat and mass transfer equations in a desiccant wheel

Practically the half length of the adsorbant has been discretized into 3 equidistant nodes, to whom it should be added another node where temperature and concentration is determined in the passing airflow. If the system is discretized into n elementary cells, $12n$ unknown parameters have to be determined for every time step of the simulation. For this reason using CMMS theory to represent the interactions between pollutant/water vapor (Popescu et al.[2]), the system of equations to be solved are as it follows:

Air node

$$\rho_{air} V_{air} \frac{dC_{air,p}}{dt} = \rho_{air} h_p A_s (C_{1p} - C_{air,p}) + w_{air} (C_{air,p,i-1} - C_{air,p}) \quad (1)$$

$$\rho_{air} V_{air} \frac{dC_{air,h}}{dt} = \rho_{air} h_h A_s (C_{1h} - C_{air,h}) + w_{air} (C_{air,h,i-1} - C_{air,h}) \quad (2)$$

$$\rho_{air} V_{air} C_{p,air} \frac{dT_{air}}{dt} = h_t A_s (T_1 - T_{air}) + w_{air} C_{p,air} (T_{air,i-1} - T_{air,n}) \quad (3)$$

Where w_{air} (kg/s) is the airflow through the system, A_s (m²) the surface of adsorbent inside a cell (the total adsorbent surface of a half wheel divided by then number n of

elementary cells, and h_p , h_h and h_T are the mass and thermal boundary exchange coefficients. These last ones are determined as a function of the airflow from correlations between dimensionless numbers which characterizes the geometry of cells.

Node (1)

$$\left(\rho_{air} \varepsilon \frac{\delta x_a}{2} + \rho_a \frac{\delta x_a}{2} K_{T1p} \right) \frac{dC_{1p}}{dt} = \varepsilon \rho_{air} D_{ep} \frac{(C_{2p} - C_{1p})}{\delta x_a} + \rho_{air} h_p (C_{air,p} - C_{1p}) \quad (4)$$

$$\left(\rho_{air} \varepsilon \frac{\delta x_a}{2} + \rho_a \frac{\delta x_a}{2} K_{T1h} \right) \frac{dC_{1h}}{dt} = \varepsilon \rho_{air} D_{eh} \frac{(C_{2h} - C_{1h})}{\delta x_a} + \rho_{air} h_h (C_{air,h} - C_{1h}) \quad (5)$$

$$\rho_a \frac{\delta x_a}{2} C_{p_a} \frac{dT_1}{dt} = h_T (T_{air} - T_1) + \frac{\lambda_a}{\delta x_a} (T_2 - T_1) + \rho_a \frac{\delta x_a}{2} \left(H_{ads,p} \frac{dC_{s1p}}{dt} + H_{ads,h} \frac{dC_{s1h}}{dt} \right) \quad (6)$$

According to Safari et al. [4], the multicomponent isotherm slopes of pollutant and water vapor, K_{T1p} and K_{T1h} , correspond to derivative relative to concentration C_{1p} or C_{1h} of extended Langmuir equation.

Node (2)

$$\left(\rho_{air} \varepsilon \delta x_a + \rho_a \delta x_a K_{T2p} \right) \frac{dC_{2p}}{dt} = \varepsilon \rho_{air} D_{ep} \frac{(C_{2p} - C_{1p})}{\delta x_a} + \varepsilon \rho_{air} D_{ep} \frac{(C_{2p} - C_{3p})}{\delta x_a} \quad (7)$$

$$\left(\rho_{air} \varepsilon \delta x_a + \rho_a \delta x_a K_{T2h} \right) \frac{dC_{2h}}{dt} = \varepsilon \rho_{air} D_{eh} \frac{(C_{2h} - C_{1h})}{\delta x_a} + \varepsilon \rho_{air} D_{eh} \frac{(C_{2h} - C_{3h})}{\delta x_a} \quad (8)$$

$$\rho_a \delta x_a C_{p_a} \frac{dT_2}{dt} = \frac{\lambda_a}{\delta x_a} (T_2 - T_1) + \frac{\lambda_a}{\delta x_a} (T_2 - T_3) + \rho_a \delta x_a \left(H_{ads,p} \frac{dC_{s2p}}{dt} + H_{ads,h} \frac{dC_{s2h}}{dt} \right) \quad (9)$$

Node (3)

$$\left(\rho_{air} \varepsilon \frac{\delta x_a}{2} + \rho_a \frac{\delta x_a}{2} K_{T3p} \right) \frac{dC_{3p}}{dt} = \varepsilon \rho_{air} D_{ep} \frac{(C_{3p} - C_{2p})}{\delta x_a} \quad (10)$$

$$\left(\rho_{air} \varepsilon \frac{\delta x_a}{2} + \rho_a \frac{\delta x_a}{2} K_{T3h} \right) \frac{dC_{3h}}{dt} = \varepsilon \rho_{air} D_{eh} \frac{(C_{3h} - C_{2h})}{\delta x_a} \quad (11)$$

$$\rho_a \frac{\delta x_a}{2} C_{p_a} \frac{dT_3}{dt} = \frac{\lambda_a}{\delta x_a} (T_3 - T_2) + \rho_a \frac{\delta x_a}{2} \left(H_{ads,p} \frac{dC_{s3p}}{dt} + H_{ads,h} \frac{dC_{s3h}}{dt} \right) \quad (12)$$

In fact, because of the rotation of the wheel, in an elementary cell at a given time, the concentrations and temperatures in the airflow, as the concentrations and temperatures at a given depth in the adsorbing structure will not be uniform throughout the half volume of wheel (already knowing that half volume is in the adsorption phase while the other half-volume is in the regeneration phase). These temperatures and concentrations will be uniform in the cells located on the same radius. However, the exposure time to the air stream to be treated or regeneration air flow, determines the cooling (or heating) of the adsorbent and the amount of pollutant captured (or desorbed), temperature and concentrations in a cell will be much lower, respectively higher, as the cell is getting further of the air stream to be treated. Backwards, temperatures and concentrations in a cell are respectively much higher and lower than the cell away from the crossing point in the airflow (warm) regeneration. This means that for the same elemental cell we'll have: a negativ angular gradient of temperature and positif angular concentration gradient in the part of wheel with the airflow to be treated, on ther other part of the wheel it's exactly opposite.

On the other hand the concentrations and the temperatures at the outlet side of the freshair flow (subscript e), as regeneration side (subscript r), correspond in fact to the integrated average from 0 to π (for the half side of the wheel), temperatures and concentrations calculated for cell number n , the one placed downstream compared to air flow to be treated or regeneration one:

$$C_{pe} = \int_0^\pi C_{p,n}(\theta)d\theta \quad C_{he} = \int_0^\pi C_{h,n}(\theta)d\theta \quad T_e = \int_0^\pi T_n(\theta)d\theta \quad (13)$$

$$C_{pr} = \int_0^\pi C_{p,n}(\theta)d\theta \quad C_{hr} = \int_0^\pi C_{h,n}(\theta)d\theta \quad T_r = \int_0^\pi T_n(\theta)d\theta \quad (14)$$

Practically, these angular gradients require that the transfer equations are also discretized spatially in the direction of rotation to access each time t , concentrations and temperatures in the air and adsorbent at different angles θ , this for each elementary cells $i = 1$ to n . This procedure would be extremely complicated for the solver, and finally for simulation time needed. Assuming that the wheel turns faster the inlet parameters of the system than can vary - the model uses hourly data, the wheel turns with several revolutions per hour, the steps imagined are:

-to determine for each node the parameters imagining the wheel being fixed first (using presented equations);

-but by varying boundary conditions at system inlet, and eventually the airflow and its direction, in relation with the operating characteristics of the system, especially the revolution speed ω (rev/min) of the wheel.

Thus, the boundary conditions are temperature, humidity and pollutant concentration in the air to be treated, for $\omega/2$ minutes, and the same parameters in the regeneration air during $\omega/2$ minutes remaining (Figure 3) .

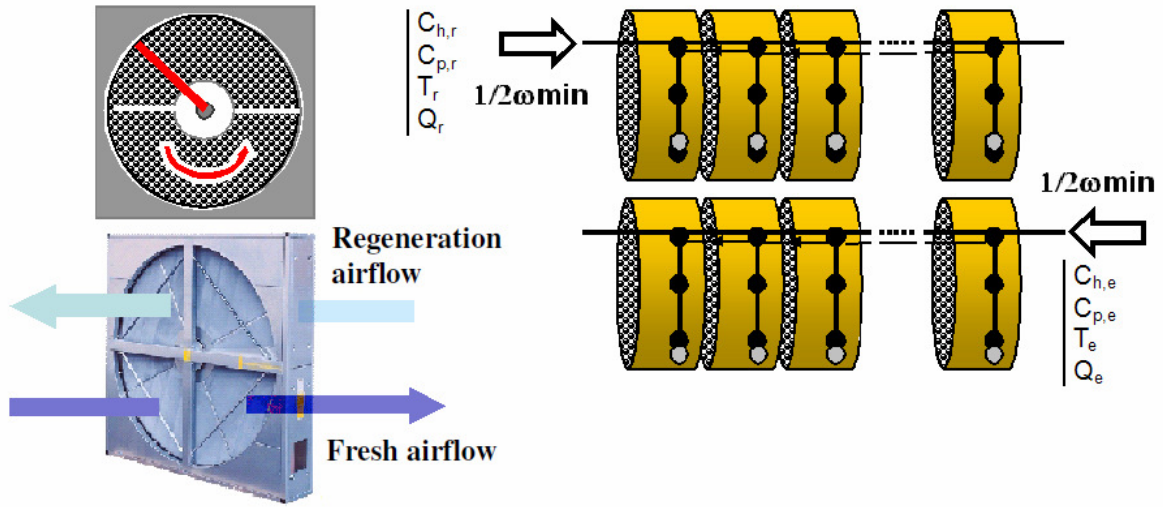


Figure 3: Illustration of the angular gradients as a function of the wheel's rotation

Along with this, the flow rate of air passing through (w_{air}), and eventually the direction of flow, are modified with the same frequency as a function of operating characteristics of the system.

Finally, concentrations and hourly average temperatures at the outlet epuration side of the system, are calculated by integrating hourly profiles obtained with the boundary conditions corresponding to each phase of the cycle, and then returning the result for a period of 0.5 hours (1800 s):

$$C_{pe} = \frac{1}{1800} \int_{\text{epuration time}} C_{p,n}(t) dt, \quad C_{he} = \frac{1}{1800} \int_{\text{epuration time}} C_{h,n}(t) dt, \quad T_e = \frac{1}{1800} \int_{\text{epuration time}} T_n(t) dt \quad (15)$$

$$C_{pr} = \frac{1}{1800} \int_{\text{epuration time}} C_{p,n}(t) dt, \quad C_{hr} = \frac{1}{1800} \int_{\text{epuration time}} C_{h,n}(t) dt, \quad T_r = \frac{1}{1800} \int_{\text{epuration time}} T_n(t) dt \quad (16)$$

3. Results

3.1. Study of a static desiccant system

In Figure 4 it is represented simulation of a static system operating in adsorption/desorption alternative cycles. The thickness of the adsorbent layer and metallic plate are 0.4mm respectively 1mm. The exchange surface between two plates is 0.09 m² and the air speed 2 m/s. In these conditions, the convective transfer coefficients are $h_T=43.8 \text{ W m}^{-2}\text{K}^{-1}$ (according to Nia et al. [7]) and $h_p=0.0366 \text{ m/s}$ (Popescu et al.[4]). The inlet temperature on the adsorbent side corresponds to exterior temperature, supposed to be equal to 0 °C all day long. Ethanol concentration in the air stream is also supposed to be constant and equal to 10 ppm. The exhaust air temperature is constant and considered 20°C, for dry conditions.

During regeneration period of time, the airflow is heated electrically to a temperature between 30-60 °C. Exhaust air is directly sent to exterior without entering the ventilated local.

The results presented in Figure 4 correspond to steady state conditions, and show that for a higher regeneration temperature, the pollutant is better desorbed, in this way more ethanol can be captured during adsorption process. The regeneration phase is arbitrarily closed to be for 4h, and the profiles obtained show that the adsorbent is completely regenerated after 1h to 1h30'. The most surprising fact is that there is little difference between adsorption and desorption kinetics. The necessary period of time needed to saturate the adsorbent at 0°C is slightly superior to desorption at 60°C. Physically, the increasing temperature can be translated by a reduction of adsorbent capacity of desiccant, and of an acceleration of internal diffusion, because the isothermal adsorption slopes of the system pollutant/adsorbent (K_{Tp}) is decreasing when the temperature is increasing. Thereby the adsorption phase should be longer than the desorption one, offering the possibility to capture efficiently the pollutant during the day and rejecting it during the night (or after the occupants leave the building). In this case, the small difference showed between the adsorption and desorption phases can be explained that the pore diffusion is rate limiting compared to boundary layer diffusion. Increasing the temperature has little influence on the global kinetics of the transfer between air and the interior of adsorbent layer. Practically the situation presented in Figure 4 involves a regeneration of several times per day to have a good efficiency of the filter, regeneration that needs energy input. The case presented is a simple and unrealistic one, but it shows the complexity of a coupled heat and mass transfer, also the tools for developed model to optimize the system from the very start (thickness of the adsorbent for instance), as well as operating parameters (air speed, temperature and regeneration period of time, ...).

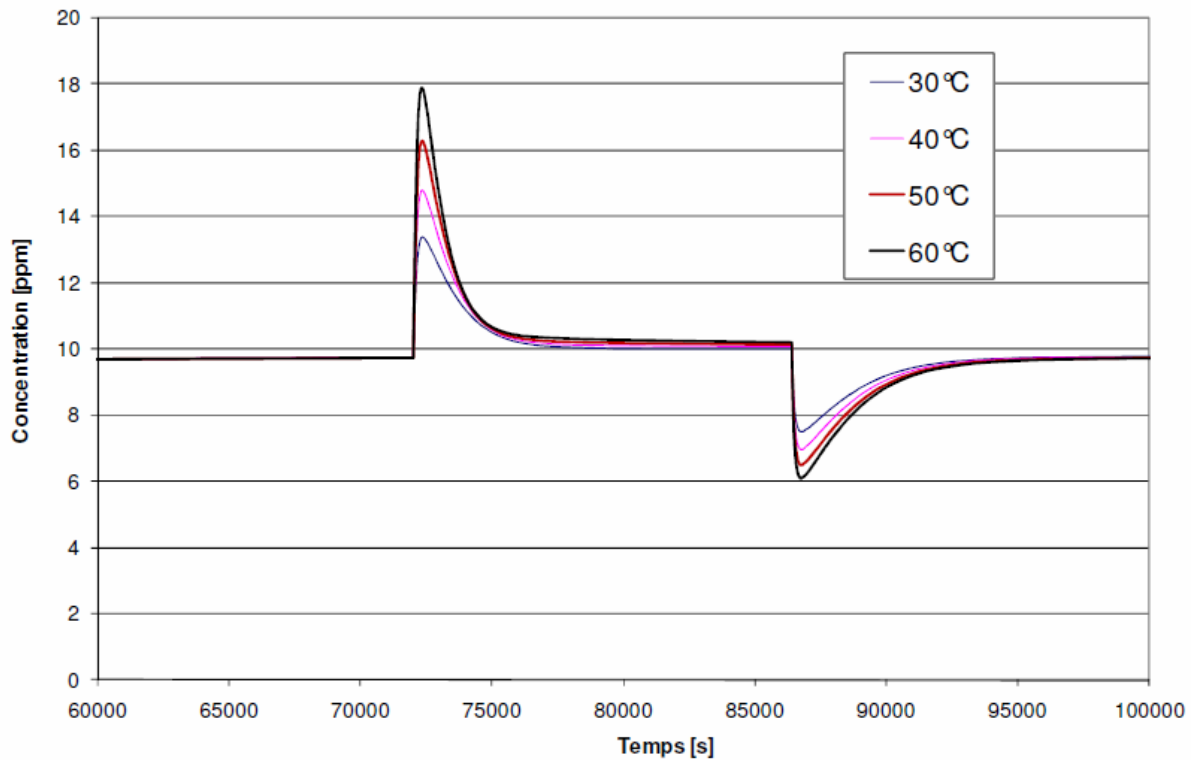


Figure 4: Simulation of a static desiccant system thermally regenerated during the night

3.2. Dynamic rotary desiccant wheel

The Figure 5 and Figure 6 present ethanol concentration profile respectively outlet temperature of a cell on the fresh air and regeneration side, for a honeycomb desiccant wheel. This wheel is turning with 2 revolutions / hour. The adsorption and regeneration phases last for 15 minutes each. The concentration and temperature on the fresh air side are $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 20°C . On the regeneration side the concentration is $10\mu\text{g}/\text{m}^3$, and the temperature 60°C . The airflow is supposed to have on fresh air side 50% and the same on regeneration inlet of the wheel; air speed considered is 2 m/s. The cells have a thickness of 2 mm and a unitary exchange surface of 0.0012 m^2 . The system has been divided into 50 elementary cells, on its length, to be able to represent the concentration and temperature gradients.

As explained before, the concentration and temperature profiles belong to the values of the two parameters, at the outlet of a single cell, which has a complete rotation, alternately passing through the two sides of the wheel. Ethanol concentration and temperature, in the airflow on the outlet of both sides of the wheel, are equal to the average on 15 minutes, of the calculated values at the outlet of cells from adsorption, desorption sides.

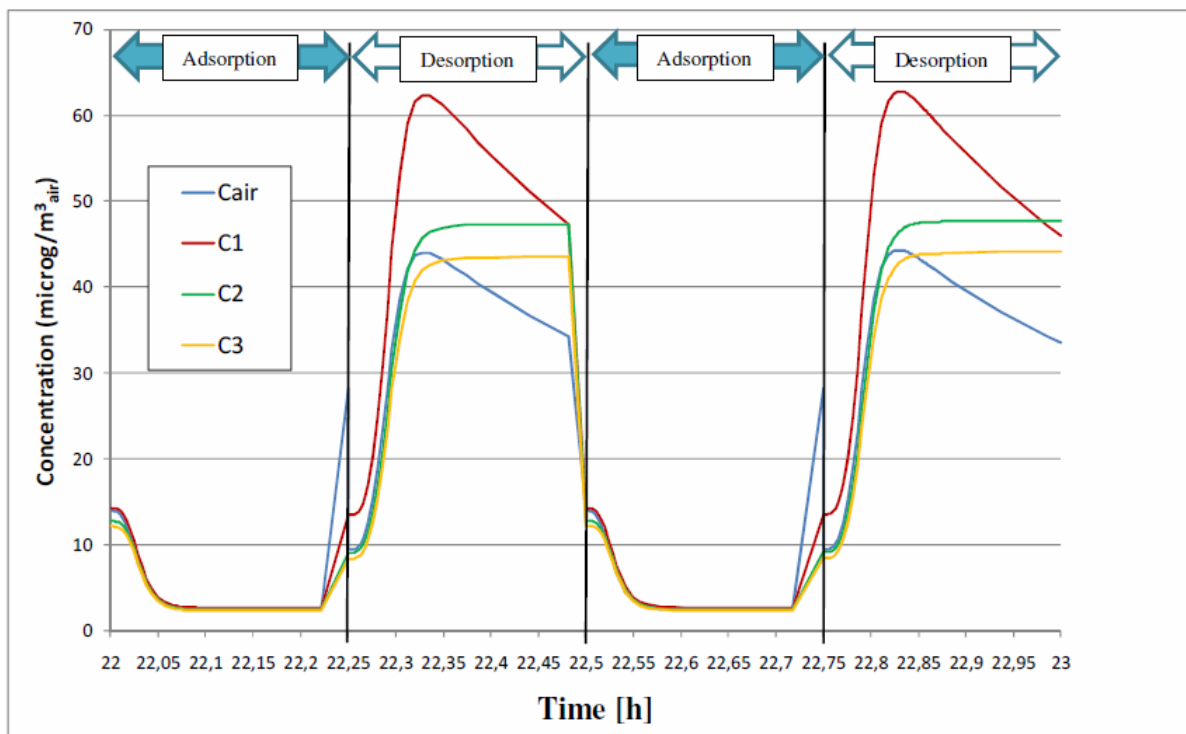


Figure 5: Simulation of a honeycomb rotary desiccant wheel : outlet concentrations, adsorption and regeneration sides

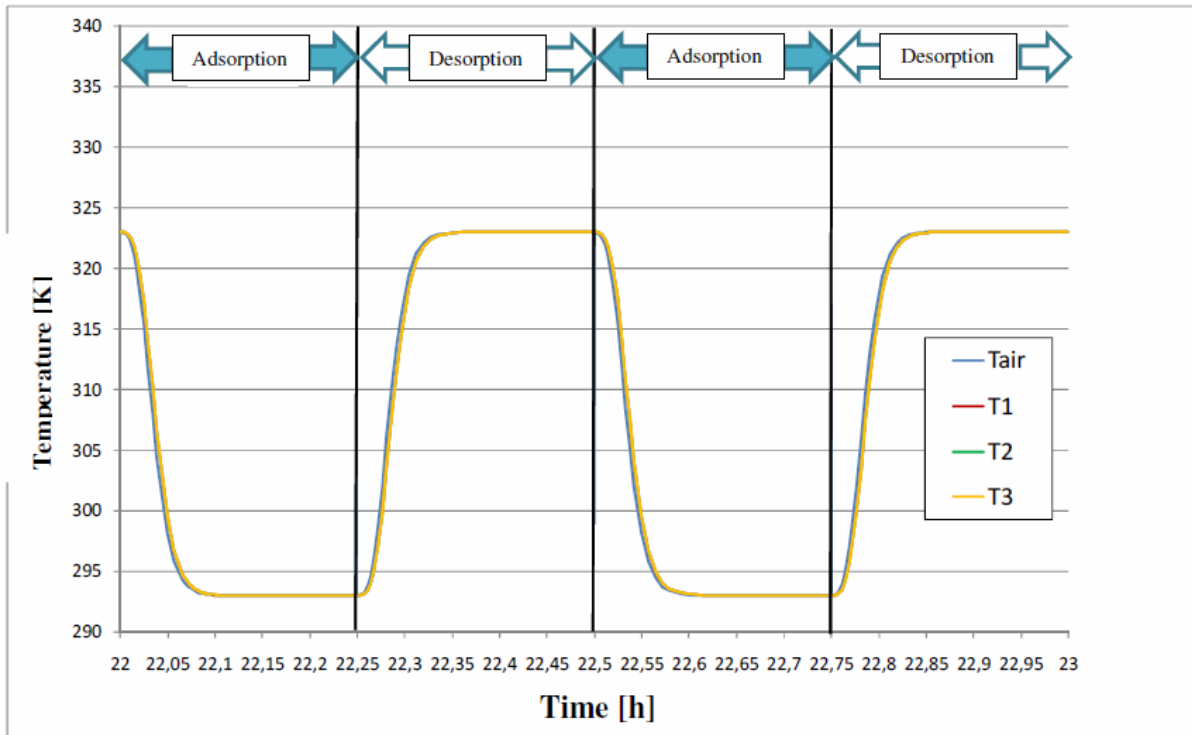


Figure 6: Simulation of a honeycomb rotary desiccant wheel : outlet temperatures, adsorption and regeneration sides

Figure 6 shows that the equilibrium in temperature is reached in 5-6 minutes, or 1/3 of the passing time of these airflows. During this period of time, pollutant adsorption is not optimal because of the desiccant's temperature: the concentration at the outlet of the cell is $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, it decreases then till $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ during the rotation period (Figure 5). Finally, the concentration at the outlet of the system is $4.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, or an adsorption efficiency of 80%.

The airflow on regeneration side, at a temperature of 60°C , has an opposite effect on the desorption of the pollutant. The amount of ethanol desorbed is increasing while the equilibrium temperature is reached in the desiccant material. Analyzing the evolution of the concentration at the outlet of the cells, according to their position (radial angle) in the regeneration side, it is possible to distinguish three modes of operation during the desorption process:

- For the cells that have just switched on the regeneration side (having a radial angle less than 20°), the outlet concentration is higher than the inlet system one ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$): the adsorbent is releasing the pollutant in the air stream because the inlet air has a lower concentration.
- For the cells placed at a radial angle between 20 - 55° , the outlet concentration is maximal: all the cells have a 60°C temperature, so the adsorption process is intense.

- The cells having a radial angle over 55° are also in thermal equilibrium but most of the pollutant has been released before in the air stream.

By performing an average value of the outlet concentration, we obtain at the outlet of the system a concentration of $32.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

The regeneration process could be considered achieved, if the concentration in the last cell (the one which has been represented in the Figure 5) reaches equilibrium ($C_{air} = 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in the moment when it leaves the regeneration side. For further studies the rotation of the wheel should be optimized to reach the best performance on adsorption/regeneration sides as well as the other operating parameters of the system.

4. Conclusion

A model of heat and mass transfer is proposed in the present paper, for a honeycomb desiccant rotary wheel. It's a first step for a more detailed analysis which should optimize every parameter for such a complex ventilation system. The study was interested in showing the ability of the adsorbent to reduce the concentration of ethanol, as an outdoor pollutant, to improve IAQ.

For the phenomenological level of detail considered, the resulting models are complex and coupled, and most likely it reached the processing capabilities of Matlab/Simulink solver. That's the reason why there should be introduced some simplifications to the model, to be able to perform yearly simulations with a reasonable computational time, for real outdoor parameters with variable profiles.

5. References

- [1] Ge T.S., Li Y., Wang R.Z., Dai Y.J., *A review of mathematical models for predicting rotary desiccant wheel*, *Renewable and sustainable energy reviews*, 1485-1528, 2008
- [2] Popescu R., Blondeau P., Colda I., *Physically-based modeling of the influence of humidity on the efficiency of activated carbon filters*, Indoor Air Conference, August 17-22, Copenhagen, Denmark, 2008
- [3] Blondeau P., Popescu R., Jouandon E., Colda I., *On the use of activated carbon filters in buildings*, Indoor Air Conference, September 4-9, Beijing, China, 2005
- [4] Popescu R., Blondeau P., Jouandon E., Costes J.C., Fanlo J.L., *Elemental modeling of adsorption filter efficiency for indoor air quality applications*, *Building&Environment review*, 11-22, 2013
- [5] Zhang L.Z., Niu J.L., *Performance comparison of desiccant wheels for air dehumidification and enthalpy recovery*, *Applied thermal engineering revue*, 1347-1367, 2002
- [6] Zhang X.J., Dai Y.J., Wang R.Z., *A simulation study of heat and mass transfer in a honeycomb rotary desiccant dehumidifier*, *Applied thermal engineering revue*, 989-1003, 2003
- [7] Nia F.E., Passen D., Saidi M.H., *Modeling and simulation of desiccant wheel for air conditioning*, *Energy and Building revue*, 1230-1239, 2006

- [8] Zheng W., Worek W.M., *Numerical simulation of combined heat and mass transfer process in a rotary dehumidifier*, *Numerical heat transfer*, 211-232, 1993
- [9] Kodama A., Hirayama T., Goto M., Hirose T., Critoph R.E., *Applied thermal engineering revue*, 1657-1674, 2001
- [10] Safari V., Haghighat F., Lee C.S., Blondeau P., Popescu R., Lakdawala N., *A Systematic Approach for Evaluation of Gas Phase Filter Model*, HVAC&R Research, In press, 2013

Studiu comparativ privind asigurarea energiei electrice din surse neconvenționale de energie pentru o clădire rezidențială*

Comparative study for ensuring electrical energy from unconventional sources for a residential building

Marius-Costel Balan¹, Marina Verdeș¹, Vasilică Ciocan¹, Alexandru Verdeș¹

¹Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași, Facultatea de Construcții și Instalații
Bd. Prof.dr.doc. Dimitrie Mangeron, nr. 1, mun. Iași, cod 700050, Romania
E-mail: balanmariuscostel@gmail.com, verdesmarina2003@yahoo.com, vcioacan2005@yahoo.com, alexandruverdes@ymail.com

Rezumat. Prezenta lucrare ilustrează un studiu comparativ între două sisteme de producere a energiei electrice: clasic și neconvențional. Studiul se concentrează asupra analizei tehnico – economice pentru cele două sisteme analizate și care au rolul de a asigura energia electrică pentru o locuință unifamilială. Necesitatea acestui studiu se impune, în contextul în care, utilizarea surselor neconvenționale de energie prin tehnologiile actuale se realizează – este adevărat - într-un ritm foarte alert dar, cu investiții inițiale foarte mari.

Cuvinte cheie: energie electrică, sistem, energie neconvențională, energie fotovoltaică, analiză.

Abstract. This paper illustrates a comparative study between two power generation systems: classical and unconventional. The study focuses on technical - economic analysis of the two systems which are designed to provide electricity for a single-family residence.

The need for this study is required, given that the use of unconventional energy sources by current technologies is achieved - it is true - in a very alert rhythm but with very large initial investment.

Key words: electricity, system, unconventional energy, photovoltaic, analysis.

1. Introducere

Dezvoltarea societății umane la nivel global a cunoscut o creștere continuă dar, odată cu aceasta, a crescut consumul de energie sub diferite forme.

* Lucrare inclusă în programul conferinței "Romanian Conference on Energy Performance of Buildings (RCEPB 2013)"

Sursele de regenerabile de energie precum biomasa, energia solara, energia hidro si geotermala pot asigura necesitățile energetice bazate pe utilizarea resurselor locale disponibile. Pornind de la aceasta realitate, tranziția catre sisteme energetice bazate pe surse regenerabile este, tot mai sigură, ținând cont de faptul că și costurile acestora se diminuează, în timp ce, prețul țițeiului și gazelor naturale continua să fluctueze. In ultimii 30 de ani vanzarile de echipamente care valorifică energia solară și eoliană au crescut deoarece, atât cheltuielile de capital cât si cele pentru producerea electricitatii au scazut, simultan cu îmbunatatirea performantelor.

2. Surse neconvenționale de energie

Informații oficiale asupra potențialului “regenerabil” al României arata că ierarhia teoretică este dominata de biomasa 65%, potențialul eolian exploatabil ocupând locul 2 cu 17% din întreg, în timp ce, energia solară prezinta o pondere de 12%.

Conversia energie solare în energie electrică cu ajutorul panourilor fotovoltaice este în continua creștere, ajungând în anul 2012 la o putere instalată de aproximativ 2000 MW, însumând atât centralele electrice fotovoltaice în funcțiune cât și cele cu aviz tehnic de racordare sau cu contract de racordare, figura 1.

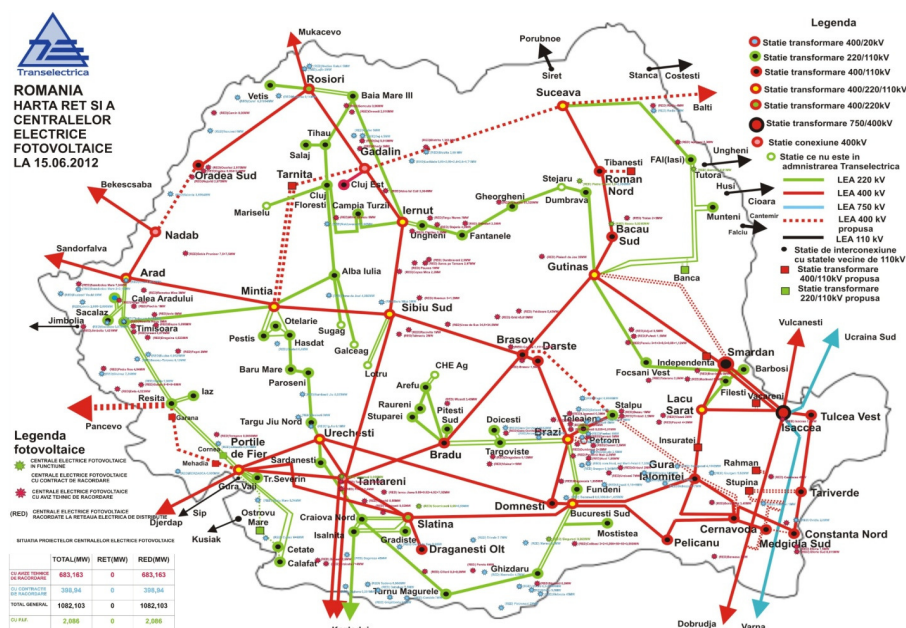


Fig. 1 – Harta centralelor electrice fotovoltaice în 2012

Sursa : Transelectrica

Pe plan internațional capacitățile instalate pentru producerea de energie electrică sunt într-o continuă creștere.

Puterea instalată totală a turbinelor eoliene la nivelul Uniunii Europene este de 84.762 MW la nivelul anului 2010, cu 9755 MW mai mult față de nivelul anului 2009.

Conform Institutului German de Energie Eoliană (DEWI), Germania este prima țară din Uniunea Europeană în ceea ce privește implementarea de turbine eoliene cu o putere instalată de 1551 MW în anul 2010 și o putere totală instalată de 27.215 MW.

Conversia energie solară în energie electrică prin intermediul centralelor fotovoltaice cunoaște o creștere semnificativă a puterii instalate, de la 5739 MWp în anul 2009 la 13.392 MWp în anul 2010.

Producerea energiei electrice din energie solară este concentrată în mare măsură la nivelul câtorva țări (Germania, Spania, Italia) demonstrat prin faptul că puterile instalate în acestea acoperă 88,9 % din puterea generată.

3. Sistem propus de producere a energiei electrice cu panouri fotovoltaice

Sistemele conectate la rețea, figura 2, alimentează cu energie consumatorul casnic iar surplusul este livrat în rețeaua publică, prin intermediul unor invertore. Aceste sisteme pot fi de dimensiuni mici, așa numitele sisteme distribuite, de regulă, montate pe acoperișuri, cu puteri de ieșire de câțiva kW sau, pot fi sisteme de dimensiuni mari, cu puteri de ieșire de ordinul MW. Sistemele distribuite folosesc pentru montarea panourilor fotovoltaice, structuri deja existente, precum acoperișurile sau fațadele sau, se fixează pe suporturi de sine stătătoare, montate în exterior.

Avantajul acestor sisteme este acela că, nu este necesară stocarea energiei care, poate fi folosită oriunde și, drept urmare, se reduce încărcarea rețelei convenționale.

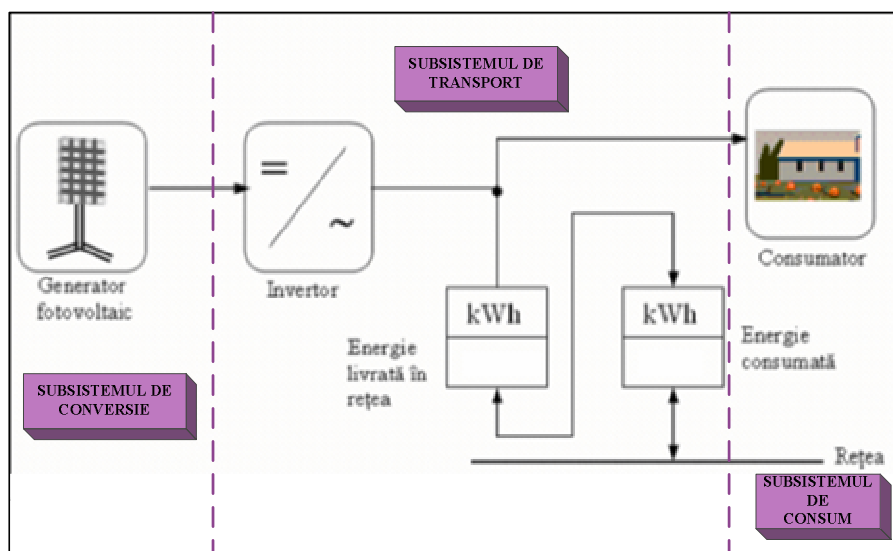


Fig. 2 – Sistem cu panouri solare fotovoltaice pentru producerea energiei electrice

În zilele însorite, acestea furnizează energie electrică consumatorilor casnici, iar excesul de energie este livrat în rețea și contorizat. Dacă vremea este nefavorabilă, consumatorii sunt alimentați din rețeaua convențională.

4. Analiza tehnico-economică a sistemului de producere a energiei electrice din surse neconvenționale

Analiza funcționării din punct de vedere tehnic, economic și financiar a sistemului integrat de producere a energiei electrice s-a realizat cu ajutorul programului de calcul RETScreen.

Pentru efectuarea acestui calcul s-au formulat următoarele ipoteze :

- ✚ Sistemul cu panouri fotovoltaice se va amplasa în cele cinci zone ale intensității radiației solare (Suceava – zona V, Timișoara – zona IV, Iași – zona III, Constanța – zona II, Galați – zona I);
- ✚ Necesarul mediu de energie electrică este de 1 MWh/an pentru clădiri de locuit ;
- ✚ Costul energiei electrice la nivelul anului 2012 este de 0.131 euro/kWh.

În figura 1.3 este prezentat evoluția prețului energiei electrice începând cu anul 2002:

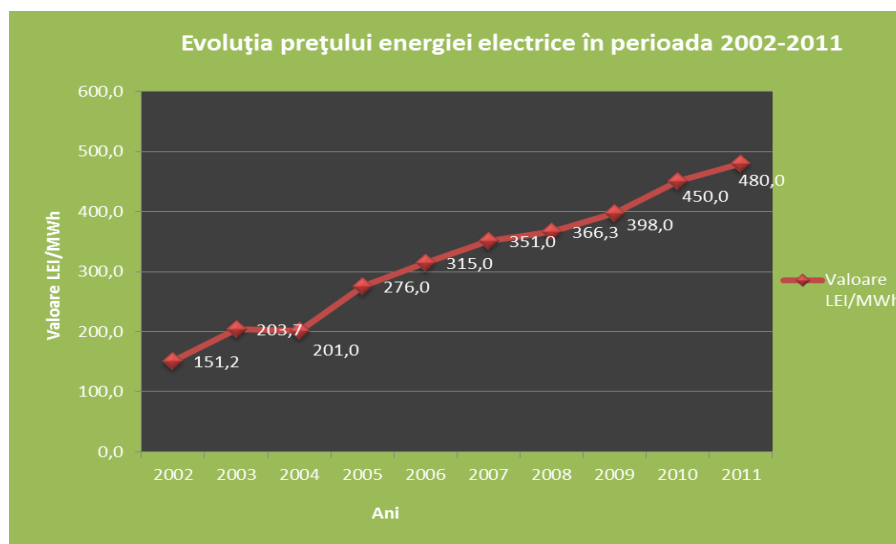


Fig. 4 – Evoluția prețului energiei electrice în perioada 2002-2011

- ✚ Pentru o locuință unifamilială s-a utilizat un sistem fotovoltaic cu puterea electrică 1,5 kWp având un preț estimativ de 2600 de euro/kWp ;
- ✚ Panourile fotovoltaice utilizate sunt alcătuite din celule monocristaline cu un randament de 18 %.
- ✚ Sistemul de referință este considerat ca fiind rețeaua de distribuție a energiei electrice.

Analiza tehnico-economica a sistemului de producere a energiei electrice din surse neconvenționale s-a efectuat prin prisma următorilor indicatorilor de performanță:

- economii anuale – Ea;
- reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră - RGES;
- rata internă de rentabilitate – RIR;
- perioada de amortizare - PA;

Studiu comparativ privind asigurarea energiei electrice din surse neconvenționale de energie pentru o clădire rezidențială

- valoarea actualizată netă – VAN;
- raportul cost beneficiu - RCB.

Rezultatele analizei sunt prezentate în următoarele diagrame :

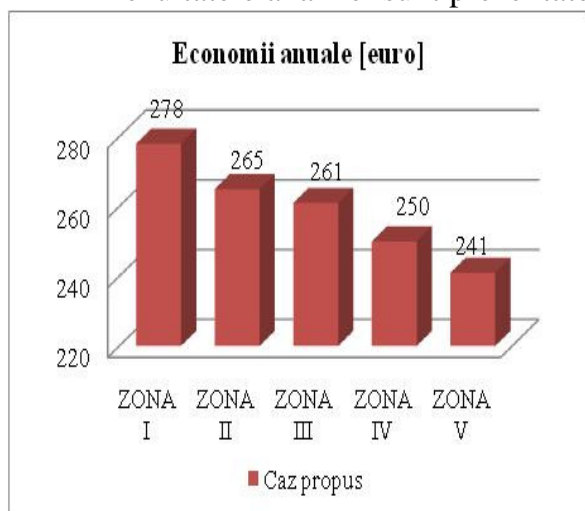


Fig. 5 – Economii anuale generate de sistemul propus

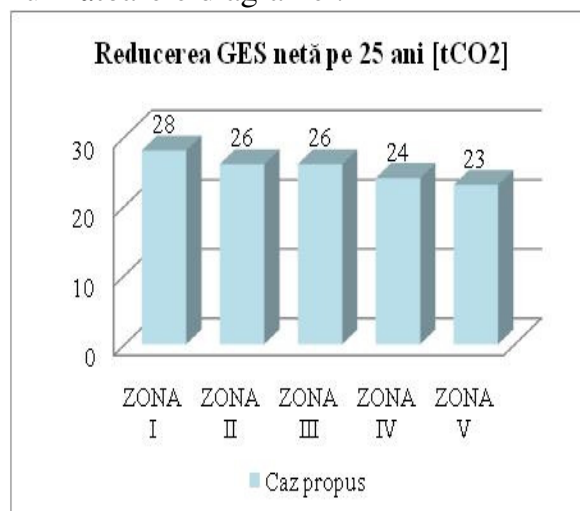


Fig. 6 – Reducerea gazelor cu efect de seră

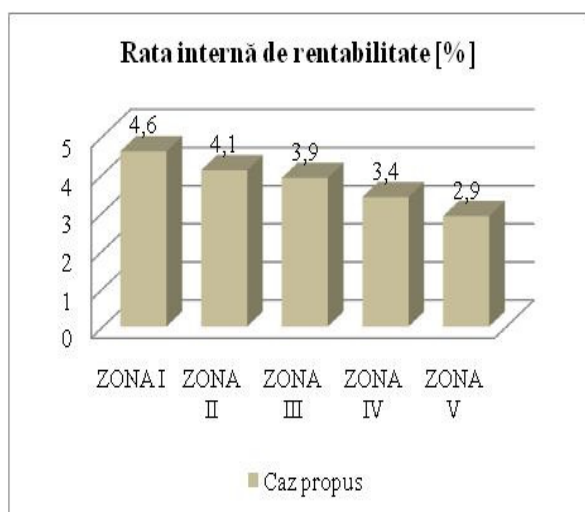


Fig. 7 – Rata internă de rentabilitate



Fig. 8 – Perioada de amortizare a sistemului propus

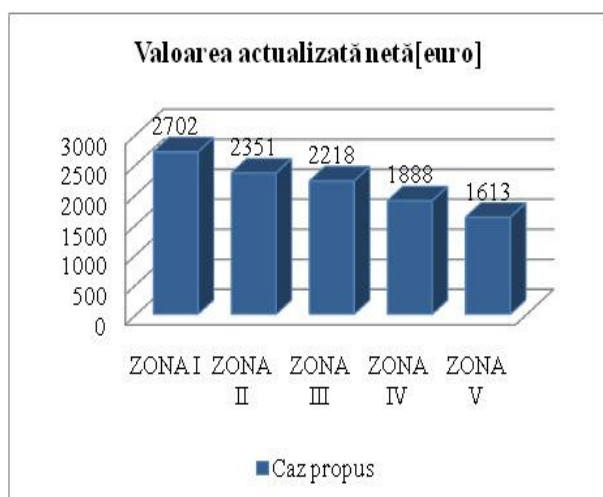


Fig. 9 – Valoarea actualizată netă

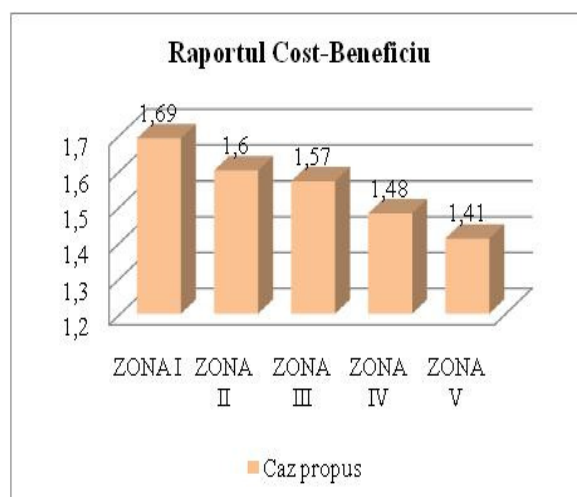


Fig. 10 – Raportul cost – beneficiu

6. Concluzii

În consens cu dezvoltarea durabilă, sursele regenerabile de energie reprezintă alternativa optimă de rezolvare a problematicii energetice, în ipoteza diminuării sau, chiar a epuizării resurselor clasice.

Utilizarea sistemului de producere a energiei electrice cu panouri fotovoltaice este avantajoasă în toate zonele climatice, deoarece asigură sarcina internă și livrează în rețea surplusul de energie. De asemenea asigură o reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră iar perioadă de amortizare este cuprinsă între 14 – 17.2 ani, perioadă care se situează sub durata de viață considerată.

Analizând sistemul prin prisma valorii actualizate nete, se poate spune că, sistemul fotovoltaic propus se poate implementa în toate zonele, deoarece valoarea acestuia este pozitivă iar, raportul cost-beneficiu are o valoare mai mare ca 1.

Referințe

- [1] M.C. Balan, „Managementul sistemelor pentru asigurarea independenței energetice a unei localități”, Teză de doctorat, 2012.
- [2] Brian Snyder, B., Kaiser, J. M., „Ecological and economic cost-benefit analysis of offshore wind energy”, Renewable Energy, Vol. 34, pp. 1567–1578, 2009.
- [3] Campoccia, A., Dusonchet, L., Telaretti, E., Zizzo, G., „Comparative analysis of different supporting measures for the production of electrical energy by solar PV and Wind systems: Four representative European cases”, in Solar Energy, Vol. 83, pp. 287–297, 2009.
- [4] Javier, F., Wang, X., Barnett, A., „Energy production of photovoltaic systems: Fixed, tracking, and concentrating”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 16, pp. 306– 313, 2012.

Analiza decizională pentru evaluarea gradului de satisfacere a confortului termic în clădirile de locuit*

Decision analysis to evaluate thermal comfort in residential buildings

Gabriel Teodoriu¹, Ion Șerbănoiu²

¹Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, Facultatea de Construcții și Instalații
Str. Prof.dr.doc. Dimitrie Mangeron, nr. 1, mun. Iași, cod 700050, Romania
E-mail: gabrielteodoriu@yahoo.com

²Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, Facultatea de Construcții și Instalații
Str. Prof.dr.doc. Dimitrie Mangeron, nr. 1, mun. Iași, cod 700050, Romania
E-mail: serbanoiuion@yahoo.com

Rezumat. *Articolul abordează posibilitatea de implementare a unui model simplificat de evaluare a gradului de satisfacere a confortului termic în clădirile de locuit pe perioada rece a anului, în care sistemul emisiv radiant este acționat la cerere, folosind metoda multicriterială bazată pe indicii temperatura operativă respectiv temperatura superficială în zona de incidență a punților termice. Studiului constă în urmărirea comportării parametrilor confortului termic funcție de gradul de izolare termică și propune un cadru decizional prin care să se evalueze ușor caracteristica unui ambient plăcut și sănătos pentru ocupanți, în condițiile în care se pot elimina factorii ce conduc la apariția sindromului clădirilor bolnave.*

Cuvinte cheie: confort termic, rezistență termică, temperatura operativă, model decizional, clădiri de locuit

Abstract. *This article synthesizes the possibility of implementing a simplified model to assess users thermal comfort satisfaction in residential buildings, during the cold season, considering on demand usage of radiant heating system, using the operative temperature and surface interior temperature index for evaluation. This study aims to estimate thermal comfort parameters depending on thermal insulation and proposes a framework to assess the decision to configure a pleasant and healthy environment for occupants, following the principle to avoid factors that lead to sick building syndrome.*

Key words: multi criteria, decision making, thermal confort, residential buildings

1. Introducere

Confortul poate fi definit, la modul general, drept ansamblul condițiilor de mediu necesare desfășurării optime a vieții fiziologice și psihice a omului aceasta

* Lucrare inclusă în programul conferinței "Romanian Conference on Energy Performance of Buildings (RCEPB 2013)"

presupunând satisfacerea concomitentă a exigențelor privind căldura, acustica, luminozitatea, puritatea aerului etc.

Pornind de la acest aspect, cercetarea relației locuință, condiții de locuit, sănătatea, confortul populației și consumul energetic se impune ca primă necesitate în perioada actuală dacă avem în vedere ritmul susținut de construire a locuințelor în contextul noilor exigențe impuse de normele europene și al epuizării resurselor convenționale de energie.

Parametrii care influențează confortul fiziologic sunt determinați funcție de principalii factori care influențează capacitatea de disipare a excesului de căldură din corp ce afectează implicit starea de confort termic resimțită în încăperi.

Abordarea sistemică a confortului adaptiv este relevat sintetic în fig. 1 și se poate explica prin faptul că în cazul apariției unei schimbări sau a unui fenomen cauzator de disconfort, oamenii pot reacționa pentru a restabili starea de confort în funcție de propriile necesități și percepții. Ipotezele principale ale acestei teorii constau în:

- ✓ capacitatea ființelor umane de a se adapta la condițiile de mediu
- ✓ posibilitatea de a regla parametrii de confort după propriile necesități;
- ✓ influența experiențelor anterioare asupra așteptărilor ocupanților în ceea ce privește condițiile de microclimat interior. [1]

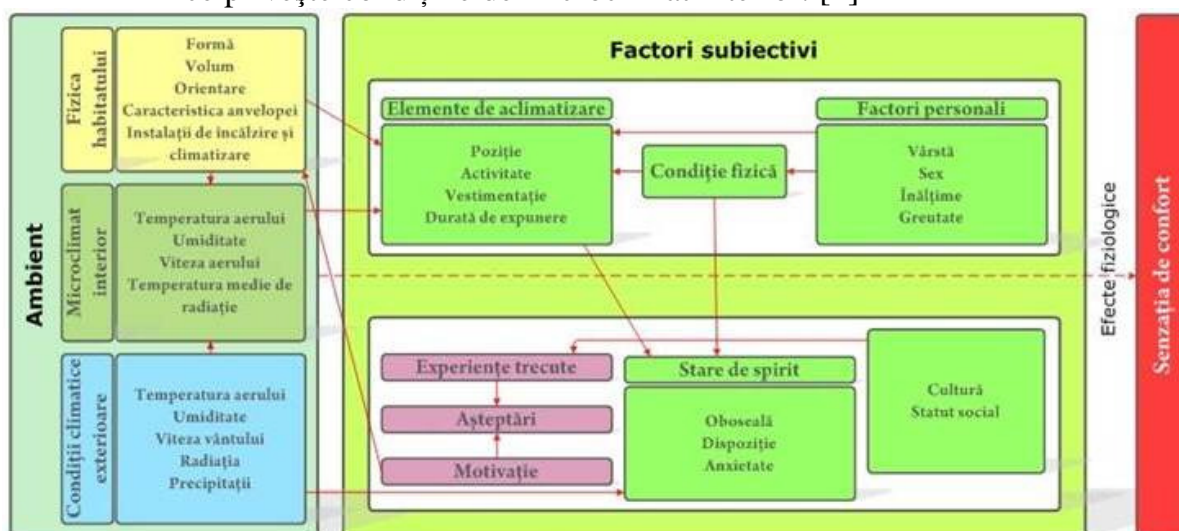


Fig. 1. Abordarea sistemică a confortului adaptiv

Primul pas în asigurarea unui climat plăcut și sănătos îl constituie determinarea rezistenței termice minim necesare pentru suprafețele exterioare pentru a evita incidența mucegaiului care ar putea clasifica locuința sub auspiciul sindrom clădire bolnavă.

2. Temperatura operativă

Indicele *temperatură operativă* constituie standardul ideal pentru a cuantifica starea de confort termic într-o încăpere. A fost introdus de Winslow, Herrington și Gagge după rezultatele cercetărilor lui Bedford și poate fi definit drept temperatura

uniform distribuită pe suprafața unei anvelope izotermice imaginare cu care o persoană va schimba aceeași cantitate de căldură prin radiație și convecție ca cea din mediul considerat. Inițial, era estimat ca medie ponderată între temperatura medie radiantă și temperatura termometrului uscat luând în considerare coeficienții de transfer de căldură specifici, conform relației: [2]

$$t_o = \frac{(h_r \theta_{mr} + h_c t_i)}{h_r + h_c} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3)$$

unde:

h_r - coeficientul de transfer de căldură prin radiație (4,7 W/m²°C);

h_c - coeficientul de transfer de căldură prin convecție [W/m²°C];

θ_{mr} - temperatura medie radiantă [°C].

Formula integrează efectul temperaturii aerului și al radiației dar nu ia în considerare umiditatea și mișcarea aerului deoarece studiul a fost efectuat în condiții răcoroase în care impactul creat de umiditatea aerului a fost mic și circulația maselor de aer neglijabilă. În aceste condiții s-a impus necesitatea corectării formulei pentru mișcarea aerului: [2]

$$t_o = \frac{h_r \theta_{mr} + h_c \left[t_i \sqrt{\frac{v}{v_o}} - t_{sk} \left(\sqrt{\frac{v}{v_o}} - 1 \right) \right]}{h_r + h_c} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4)$$

în care:

v - viteza aerului [m/s]

v_o - viteza de referință [0,076 m/s]

t_{sk} - temperatura cutanată a individului [°C]

h_c - coeficientul de transfer prin convecție corespunzător v_o ; Estimativ $h_c = 8,3 \times 0,076^{0,6} = 1,77 \text{ W/m}^2\text{°C}$

h_r - coeficientul de transfer prin radiație, $h_r = 4,7 \text{ W/m}^2\text{°C}$

θ_{mr} - temperatura medie radiantă [°C].

În condițiile în care $\theta_{mr} = t_i$ și mișcarea aerului este neglijabilă, atunci $t_o = t_i$. [2]

ASHRAE propune o formulă simplificată cu rezultate satisfăcătoare pentru sezonul răcoros, în condițiile în care locatarii au o activitate fizică sedentară (cu rate metabolice MET între 1,0 și 1,3), nu sunt expuși la radiație solară directă și suportă viteze ale aerului interior până în jurul valorii de 0,20 m/s [3], respectiv:

$$t_o = \frac{\theta_{mr} + t_i}{2} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (5)$$

Pentru clădirile de locuit, valorile confortabile în sezonul rece pot varia între 19 și 24°C funcție de intensitatea activității ocupanților și gradul de protecție al îmbrăcăminte. ([3],[4],[5])

3. Temperatura suprafețelor interioare a elementelor de construcție

Normativul C107:2005 prevede ca model de calcul pentru determinarea temperaturii pe suprafața interioară a elementelor de construcție fără punți termice (t_{si}) relația: [6]

$$t_{si} = t_i - \frac{\Delta t}{h_c \cdot R} \quad (6)$$

în care:

$\Delta t = t_i - t_e$, pentru elementele de construcție adiacente mediului exterior;

t_i – temperatura aerului interior, considerată 21°C în sezonul rece în regim de confort;

t_e – temperatura aerului exterior de calcul specifică zonei climatice.

h_c – coeficientul de transfer prin convecție pentru spațiile interioare având valoarea medie $h_c = 3[\text{W/m}^2\text{K}]$;

Pentru determinarea temperaturilor suprafețelor interioare afectate de incidența punților termice, este necesară aplicarea unei corecții estimative utilizând formula: [6]

$$t_{si,pt} = 1,3 \cdot t_{si} - 0,3 \cdot t_i \quad (7)$$

în care:

$t_{si,pt}$ – temperatura superficială în zona de incidență a punților termice;

4. Temperatura punctului de rouă

Temperaturile superficiale se limitează inferior astfel încât să nu apară fenomenul de condens pe suprafața interioară a elementelor de construcție [6], peste valoarea temperaturii punctului de rouă.

Temperatura punctului de rouă (t_r) se calculează conform relației: [7]

$$t_r = \left(\frac{\varphi}{100} \right)^{\frac{1}{8}} (112 + 0,9 \cdot t_i) + 0,1 \cdot t_e - 112 [^\circ\text{C}] \quad (8)$$

unde:

φ – umiditatea relativă a aerului interior (%);

5. Noțiuni de teoria deciziei

Teoria deciziei vizează elaborarea unor metode care să permită generarea unor decizii optime în condiții de incertitudine sau alte restricții relevante.

În elaborarea și fundamentarea metodelor de selecție se identifică următoarele etape:

- a) aprecierea caracteristicilor și definirea scopului problemei
- b) stabilirea criteriilor
- c) stabilirea metodei și alegerea variantei optime;
- d) evaluarea rezultatelor.

Conținutul principal al procesului decizional îl reprezintă selectarea unei alternative din cele aflate la dispoziția decidentului. Elementele procesului constau în:

- a) mulțimea consecințelor $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$
- b) mulțimea restricțiilor $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$
- c) mulțimea variantelor $V = \{v_1, v_2, \dots, v_k\}$;
- d) mulțimea criteriilor $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$, fiecărui c_i cu $i=1, n$ îi corespunde un coeficient de importanță k_i inclus în mulțimea $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$.

Mulțimea consecințelor criteriilor de apreciere având limitele restricțiilor minim și maxim, este rezultatul analizei fiecărei variante în raport cu fiecare criteriu de aplicare în urma căreia se obține un anumit nivel al criteriului pentru fiecare variantă.

Problema decizională abordată cuprinde m variante ($v_1, v_2, \dots, v_m$) și n criterii ($c_1, c_2, \dots, c_n$) și este caracterizată prin matricea consecințelor $A=(a_{ij})$ cu $i=1, n, j=1, m, a_{ij}$ = consecință corespunzătoare variantei decizionale „i” după criteriul j ce corespunde restricției r .

Tabelul 1

Matricea procesului decizional					
Criterii \ Variante	C_1	C_2	C_3	...	C_n
V_1	a_{11}	a_{21}	a_{31}	...	a_{n1}
V_2	a_{12}	a_{22}	a_{32}	...	a_{n2}
...	...	...	...	...	...
V_m	a_{1m}	a_{2m}	a_{3m}	...	a_{nm}

Evaluarea multi-criterială presupune existența unui set de probleme având un număr finit de alternative cunoscute în mod explicit înaintea aplicării procedurii de soluționare. Soluționarea problemei constă în găsirea unei alternative unice sau a unui set de alternative potrivit pentru un factor de decizie.

6. Rezultate

Elaborarea listei opțiunilor constă în introducerea parametrilor rezistenței termice (R) specifici suprafețelor exterioare ale anvelopei conform datelor prezentate în tab. 2.

Pentru a evalua cazul cel mai dezavantajos și a reliefa strict influența suprafețelor exterioare asupra ocupanților aflați în imediata vecinătate a acestora, s-a considerat că $\theta_{mr}=t_{si}$.

Tabelul 2

Matricea procesului decizional privind condițiile de satisfacere a confortului termic în clădirile de locuit

Variantă R \ Criterii	0,7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_o	11,71	14,50	17,75	18,83	19,38	19,70	19,92	20,07	20,19	20,28	20,35
$t_{si,pt}$	-3,14	4,10	12,55	15,37	16,78	17,62	18,18	18,59	18,89	19,12	19,31

Abordarea multicriterială constă în propunerea criteriilor c_1 – temperatura operativă (t_o), respectiv c_2 – temperatura superficială în zona de incidență a punților termice ($t_{si,pt}$) pentru alegerea variantei:

- ✓ $f_1(R) = \min(R)$ pentru care se satisface restricția $t_o \geq 19^\circ\text{C}$
- ✓ $f_2(R) = \min(R)$ pentru care se satisface restricția $t_{si,pt} > t_r$; pentru valori t_r conform cu tab. 3.

Tabelul 3

Valorile restricției temperatura punctului de rouă (t_r)

φ [%]	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
t_r [$^\circ\text{C}$]	6,8	8,6	10,1	11,6	12,9	14,1	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3	20,2	21,0

Ținând cont de egalitatea coeficienților de importanță pentru criteriile c_1 și c_2 , rezultă $f(R) = \max(f_1(R), f_2(R))$.

Obiectivul scontat constă în creșterea temperaturii suprafeței interioare și implicit minimizarea incidenței condensului în zona pereților opaci prin încadrarea curbei temperaturii suprafeței interioare t_{si} respectiv $t_{si,pt}$ corespunzătoare punților termice, peste limita temperaturii punctului de rouă t_r , conform fig. 2.

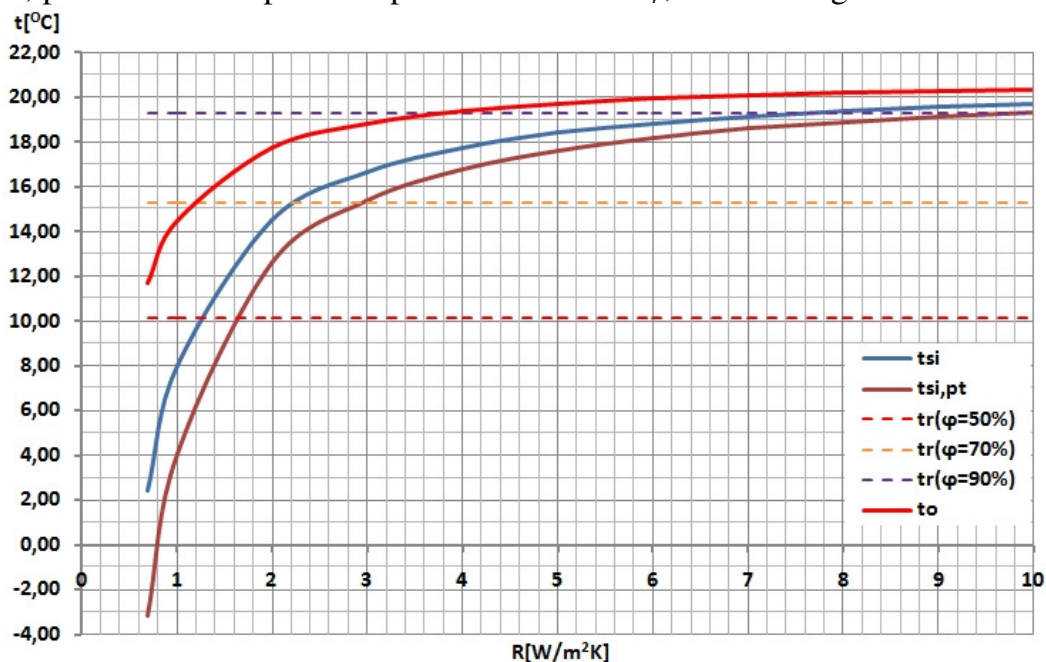


Fig. 2. Variația temperaturii operative și a temperaturii suprafețelor interioare raportat la valoarea rezistenței termice a suprafețelor adiacente mediului exterior pentru zona climatică III specifică orașului Iași (temperatura exterioară de calcul $t_e = -18^\circ\text{C}$)

Încadrarea temperaturii operative peste limita minimă 19°C presupune alegerea unei plaje de valori $R > 3,4$ [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$], însă interpretarea rezultatelor necesită și revizuirea condițiilor de risc privind incidența mușgaiului (apreciate funcție de destinația încăperii și calitatea parametrilor sistemului de ventilație), după cum urmează:

- risc scăzut, pentru $\varphi < 50\%$ – se pot adopta valori $R < 1,6$ [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$];
- risc mediu, pentru $50\% < \varphi < 70\%$ – se recomandă valori R cuprinse în intervalul $1,6 - 2,9$ [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$];

Analiza decizională pentru evaluarea gradului de satisfacere a confortului termic în clădirile de locuit

- risc ridicat, pentru $70\% < \phi < 90\%$ – se recomandă valori R cuprinse în intervalul $2,9 - 9,8 \text{ [W/m}^2\text{K]}$;
- risc foarte ridicat, pentru $\phi > 90\%$ – se recomandă valori $R > 9,8 \text{ [W/m}^2\text{K]}$.

7. Concluzii

Metodologia prezentată are scop orientativ și reprezintă un prim pas în aprecierea gradului de izolație termică pentru satisfacerea condițiilor de confort în clădirile de locuit, în condițiile în care s-au făcut ipoteze simplificatoare pentru a reliefa cazul cel mai dezavantajos ținând cont de temperatura exterioară de calcul.

Din aceste considerente, validarea deciziei necesită totuși un program complex de evaluare a comportamentului soluției alese pe întreaga perioadă de viață a sistemului folosind metoda unicriterială corespunzătoare metodologiei cost-global pentru a evalua relația izolație termică–sistem de încălzire.

Referințe

- [1] G. Teodoriu, „Criterii tehnico-economice specifice metodologiei de optimizare a gestionării energiei termice în clădirile de locuit”, Tendințe și cerințe de interdisciplinaritate în cercetare, pp.101, Iași, 25 ianuarie 2013, Editura Politehnicum Iași, ISBN 978-973-621-408-0
- [2] G. Teodoriu, „Mijloace de evaluare și cuantificare a condițiilor de confort termic pentru clădirile de locuit”, Creații universitare 2011 Al V-lea Simpozion Național Iași, România, 25 Mai 2012, 2012
- [3] *** ASHRAE STANDARD 55:2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, 2004
- [4] *** EN ISO 7730:2005 – Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, 3rd edition, 2005
- [5] L. Ekberg, „Revised Swedish Guidelines for the Specification of Indoor Climate Requirements released by SWEDVAC”, Proceedings of Clima 2007 WellBeing Indoors, 2007
- [6] *** C107-2005 – Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor, 2005
- [7] M. Wanielist, R. Kersten, R. Eaglin, „Hydrology Water Quantity and Quality Control 2nd ed.”, John Wiley & Sons, 1997

Acknowledgements

Această lucrare a fost realizată cu suportul financiar al proiectului POSDRU CUANTUMDOC „STUDII DOCTORALE PENTRU PERFORMANȚE EUROPENE ÎN CERCETARE ȘI INOVARE” ID79407 proiect finanțat de Fondul Social European și Guvernul României.

Thermal comfort analysis in a passive house using dynamic simulations*

Tiberiu Catalina¹

¹Technical University of Civil Engineering, Faculty of Building Services Engineering, CAMBI Advanced Research Center.

Bd. Pache Protopopescu, no.66, Zip code 021414, Bucharest, ROMANIA

E-mail: tiberiu.catalina@gmail.com

Abstract. *Passive houses are energy efficient constructions that are considered a good way towards a sustainable and non-polluting environment. Their impact on the energy consumption has been discussed numerous times, therefore this article targets the thermal comfort analysis during the summer period. A passive house called SES ECO was used for a detailed computer modeling and numerical analysis. This house was divided into thermal zones with different occupancy scenarios, heat gains and temperature set points. The operative temperature inside these zones was thereafter studied using dynamic simulations using the Bucharest weather data. It was found that by using a ground heat exchanger for fresh air introduction or an increased ventilation rate during night time the overheating was 9% from the total year period or 25% from the entire summer season. Despite the high outdoor temperatures, with values up to 35°C, the indoor operative temperature was lower than 28° and only for a small period of time a cooling system would have been necessary.*

Key words: passive house, simulations, thermal comfort

1. Introduction

A passive house is not a construction type which is limited to some particular building materials, but a concept for which there are multiple ways to achieve the ultimate goal [1]. The final result is a new living space with a minimum of energy consumption and enhanced interior comfort [2]. With their low energy consumption, passive houses can play an important role in reducing global warming. The heating demand is reduced through passive measures so that this kind of buildings can reach the point where there is no need for a conventional heating system (e.g. heating boiler). The concept is based on minimizing heat losses and to maximize the heat gains. The design of a passive house does not differ significantly from a conventional home and those who live in this house should not change their lifestyle. Passive houses provide a good natural light due to large glazed areas designed to optimize solar gains, and may be considered as an „healthy environment”, due to a very good air quality.

* Lucrare inclusă în programul conferinței "Romanian Conference on Energy Performance of Buildings (RCEPB 2013)"

The Passive House standard was developed by the Passivhaus Institute in Germany [3]. This standard can be achieved using a variety of design strategies, construction methods and technologies applicable for any type of building. Usually this includes optimal insulation levels, minimal thermal bridges, use of passive solar measures and the use of a mechanical ventilation system with heat recovery. Renewable energy sources are used as much as possible to meet the energy needs (electricity, heat and hot water).

The passive house concept requires certain conditions:

- Energy consumption for the heating $\leq 15 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \cdot \text{year})$ or Thermal load $\leq 10 \text{ W/m}^2$
- Infiltration rate $\leq 0.6 \text{ ach}$
- Values for the coefficient of transmission of the walls $U_{\text{wall}} \leq 0.15 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Values for the coefficient of transmission of the windows $U_{\text{windows}} \leq 0.15 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Primary energy consumption $\leq 120 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \cdot \text{year})$

The major objective of a passive house is to be energy efficient but we should not neglect the indoor comfort. The first priority is to provide occupants a healthy, clean and comfortable environment for their living. This level of comfort should be obtained using energy efficient solutions.

2. Study case on a passive house

In this chapter a passive house project, called SES ECO house, will be presented as architecture and envelope structure. The project represents a four main room house with three bathrooms, a dining area, a kitchen, an office and two bedrooms. The spatial orientation followed the premises to have perfect relationship with the outside environment and to use the natural light throughout the year. The main spaces are oriented South, East and West. The glazed areas are designed in order to ensure effective light and ventilation without compromising the global insulation of the house or to favor the appearance of thermal bridges. Facing south there is a greenhouse that provides both a pleasant space towards the living and dining areas and is built on two levels. The useful surface area is of 141.4 m^2 and is represented by the dinning/living area (33 m^2), office (12.35 m^2), bathrooms, dressing, kitchen, master bedroom (17 m^2), bedroom (13.1 m^2) and other spaces (hall, stairs, etc). The building has two balconies that are protected by the solar radiation with architectural shading constructions (see Figure 1). To prevent the overheating of the greenhouse there are controlled operable windows for efficient natural ventilation and window blinds for solar protection. The attic is situated over the rooms which are situated at the first floor and it represents a technical space.

For fulfilling the passive house criteria it was chosen an envelope structure with a high level of insulation. The walls are made of concrete (15 cm) with an external

layer of insulation (35 cm). The corresponding U-value is $0.11 \text{ W/m}^2\text{K}$. The internal walls are made of concrete (10 cm) and each face has a thin layer of plaster (0.015 cm) summing a U value of $3.38 \text{ W/m}^2\text{K}$. The floor towards the ground is made of wood parquet concrete and insulation. The U-value of the floor is $0.14 \text{ W/m}^2\text{K}$. The roof is well insulated with 40 cm of insulation, wood, air layer, plasterboard, and the calculated U-value is $0.09 \text{ W/m}^2\text{K}$. The windows are energy efficient with three layers of glass and their U-value is $0.52 \text{ W/m}^2\text{K}$.

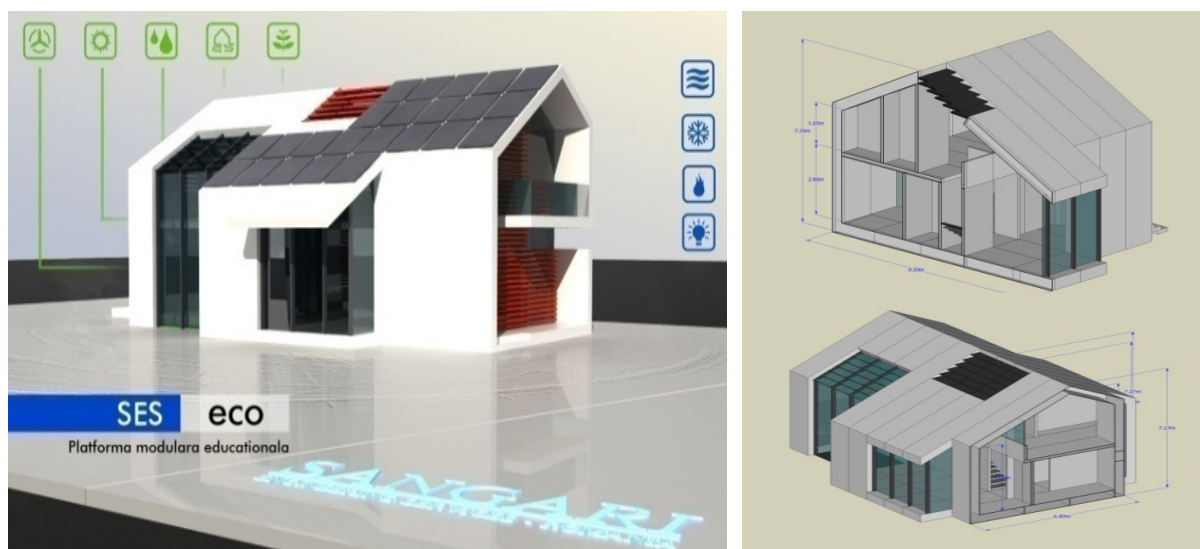


Fig. 1. Passive house SES ECO architecture (3D + sections)

3. Dynamic simulations of the house

The study has its support structure on the dynamic simulations with an hourly time-step realized using the TRNSYS [4] building simulation software. TRNSYS is a transient systems simulation program with a modular structure that was designed to solve complex energy system problems by breaking the problem down into a series of smaller components. For our problem the passive house was modeled using the standard library of components that exists in the software database. The TRNSYS building model, known as, Type56, is compliant with general requirements of European Directive [5] on the energy performance of buildings and has been used with success by engineers to design efficient buildings and also for scientific research [6]. TRNSYS was also found to be a good way to predict the thermal comfort inside the occupation space [7].

The building was divided in multiple thermal zones in order to better represent the particularities (e.g. heat gains, occupation scenario, heating set point temperature) of each space inside the house. Thermal zones are a fundamental part when you wish to do an energetic analysis by simulations. These areas can be considered as a room or group of rooms within the building, with similar thermal contributions, the same profiles (temperature, occupancy, etc.), or are served by the same HVAC system. For our study case there are 7 distinct zones (see Figure 1):



Fig. 2. Thermal zones of the Passive house SES ECO (Zone 1 – Greenhouse; Zone 2 - Living, Kitchen, bathroom, Dinning, Hall and Stairs; Zone 3 - Office; Zone 4 – Bedroom; Zone 5 - Bathroom 1 and 2, Dressing; Zone 6 - Master bedroom; Zone 7 – Buffer zone)

For each of these zones there were established the thermal loss surfaces, the adjacent surfaces between the zones (e.g. Zone 3 – wall and door with Zone 2), the heated volume and the profiles. The profiles are for the occupation (indoor heat gains from the occupants), the lighting and appliances (indoor heat gains) and the temperature set point. It is necessary to introduce the heat gains due to the presence of people in the building. These gains have a significant influence on the consumption and for the overheating during the summer season. The occupancy profiles were created specifically to each area. These were developed based on the literature and are divided into zones and periods (weekdays and weekends). There were considered 3 weeks for the holidays throughout the year. For school holiday weeks, during the weekdays the occupancy will be higher in Living area (Zone 2). The power dissipation of a person is estimated at 100 W (60 W sensible heat and latent heat 40W) and corresponds to a normal house activity [8]. The house is supposed to be occupied by four persons.

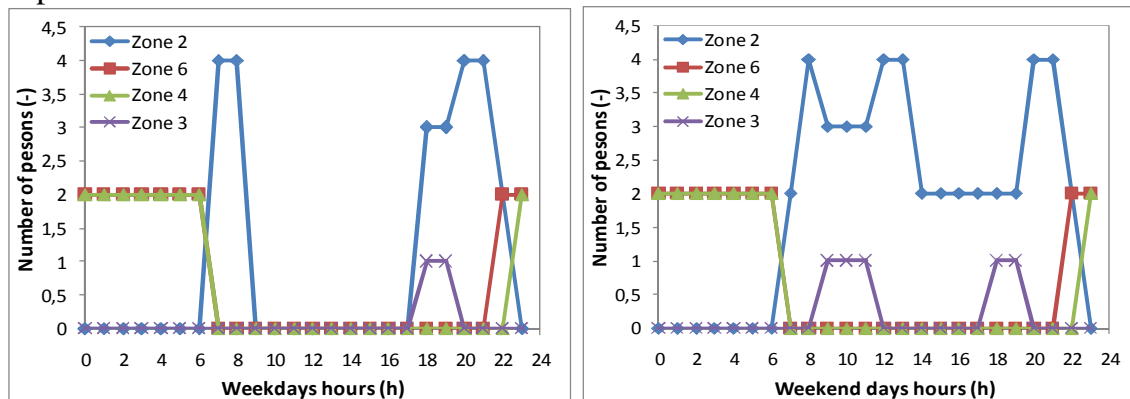


Fig. 4. Occupancy scenario for the thermal zones

The heat gains from electrical appliances are taken into account during the simulations (see Table 1). The indoor heat gains from the artificial lighting are also considered and a value of 1.5 W/m^2 was chosen. For the appliances a 40% heat transfer through radiation will be considered and the rest by convection.

Table 1

Heat gains from appliances				
Appliance	Zone	Used time	Power (W)	Power (kJ/h)
Freezer	Zone 2	24h/24	70	252
Refrigerator	Zone 2	24h/24	16	60
Hi Fi (TV..)	Zone 2	During occupation	150	540
Kitchen	Zone 2	Between 7÷8 & 19÷20 + 12÷13 (weekend)	200	720
Laundry machine	Zone 2	1h/2days (18:00)	60	216
Computer	Zone 3	During occupation	100	360

4. Thermal comfort analysis

According to the Passivhaus Institute [3], the air exchange rate of a passive house is between 0.3 and 0.4 times the volume of the building per hour, with a general recommendation to lower rates. This value will maintain a good indoor air quality while ensuring a comfortable level of humidity and an energy saving. According to the Passivhaus Institute the fresh air flow of $30\text{m}^3/\text{h}/\text{pers.}$ is sufficient for good air quality. For the SES ECO house a fresh air rate of 0.3 ach will be considered during occupation period and 0.1 ach during the inoccupation. In this article, the main objective is the thermal comfort analysis during the summer period and therefore it won't be discussed the ventilation strategy for the winter season. One important feature of the summer ventilation is the use of ground heat exchangers. To decrease the outside fresh air temperature such ground heat exchanger will be used. In our case the length of the tubes is 40 m, with 20 cm diameter, buried at 2 m depth and with the air velocity of max. 1 m/s.

During summer when the outside air temperature can be higher than 30°C the air is passed through the ground buried pipes decreasing this temperature up to 5°C before its introduction in the house ventilation system. Another characteristic of the summer ventilation strategy is to avoid high air temperatures inside the house with an increased ventilation rate that may go up to 3 ach. Among other strategies to reduce the solar heat gains it is mentioned the shading of the windows with blinds and a natural ventilation of the greenhouse. This zone is during the summer period the weak part of the house due to its overheating. This is due mainly because of the high amount of glazing area. To reduce the air temperature inside the greenhouse the windows are opened, leading to a natural ventilation of the space. A study case will present the data obtained for the Bucharest weather conditions. The simulation time step was of $\frac{1}{2}$ hours and 17520 values/results were obtained for the entire year. The global horizontal solar radiation (W/m^2) and the outdoor air temperature ($^\circ\text{C}$) for Bucharest climate are presented in Figure 4.

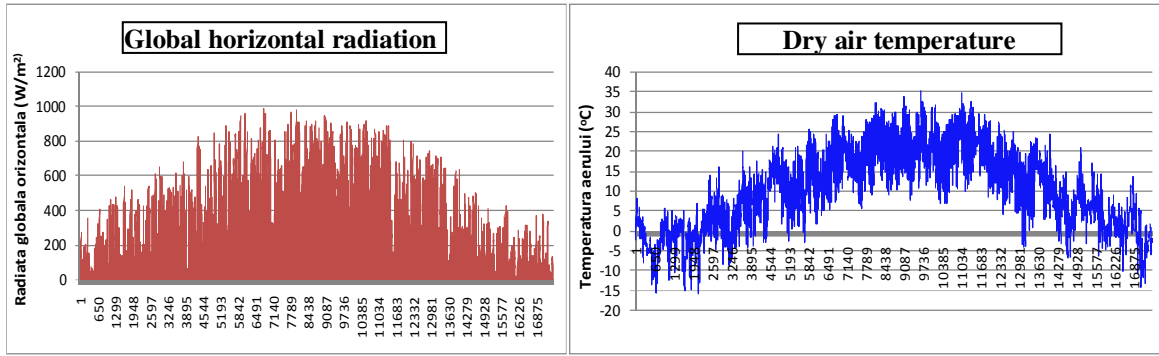


Fig. 4. Weather data for the analyzed climate (Bucharest)

The maximum level of the solar radiation is recorded during the summer season with a value of 989 W/m^2 . The weather data correspond to a typical year and are METEONORM weather files. The maximum outdoor air temperature for Bucharest is 35.4°C and the minimum of -15.6°C according to the same weather file. The thermal comfort will be further analyzed. The definition of the thermal comfort is that it is the state of mind that is satisfied with the thermal environment; it is thus the condition of minimal stimulation of the skin's heat sensors and of the heat-sensing portion of the brain. The temperatures of the surfaces surrounding a space are in strong relation with temperature of a body within that space. These can determine the rate and direction of radiant heat flow between the body and the surrounding surfaces. The radiant exchange can affect the thermal comfort of a person and consequently, it is mandatory to know the radiant surface temperatures or the average value. The most common used variable to evaluate this aspect is the mean radiant temperature (MRT). In the case of the SES ECO house, the MRT tends to stabilize near the room air temperature because the building is well insulated and the inside temperature of the walls is close to the indoor air temperature. The satisfaction with the thermal environment can be very complex and there are many interacting variables. Among the most important indoor climate parameters it is mentioned the air (dry-bulb) temperature, the humidity and the mean radiant temperature. To evaluate the thermal comfort of the SES Eco house the operative temperature will be used. This one is the uniform temperature of an imaginary enclosure in which the occupant would exchange the same heat by radiation and convection as in the actual environment. The operative temperature (T_o) is what humans experience thermally in a space and it is the combined effects of the MRT and air temperature.

$$T_o = (h_r T_{mr} + h_c T_{db}) / (h_r + h_c) \quad (1)$$

where h_c is convective heat transfer coefficient, h_r is the linear radiative heat transfer coefficient, T_{db} is the air (dry bulb) temperature and T_{mr} is the mean radiant temperature. In its simplest form the operative temperature can also be written as:

$$T_o = (T_{mr} + T_{db}) / 2 \quad (2)$$

The preferred temperature range for occupants dressed in summer may go to 26°C [8].

Thermal comfort analysis in a passive house using dynamic simulations

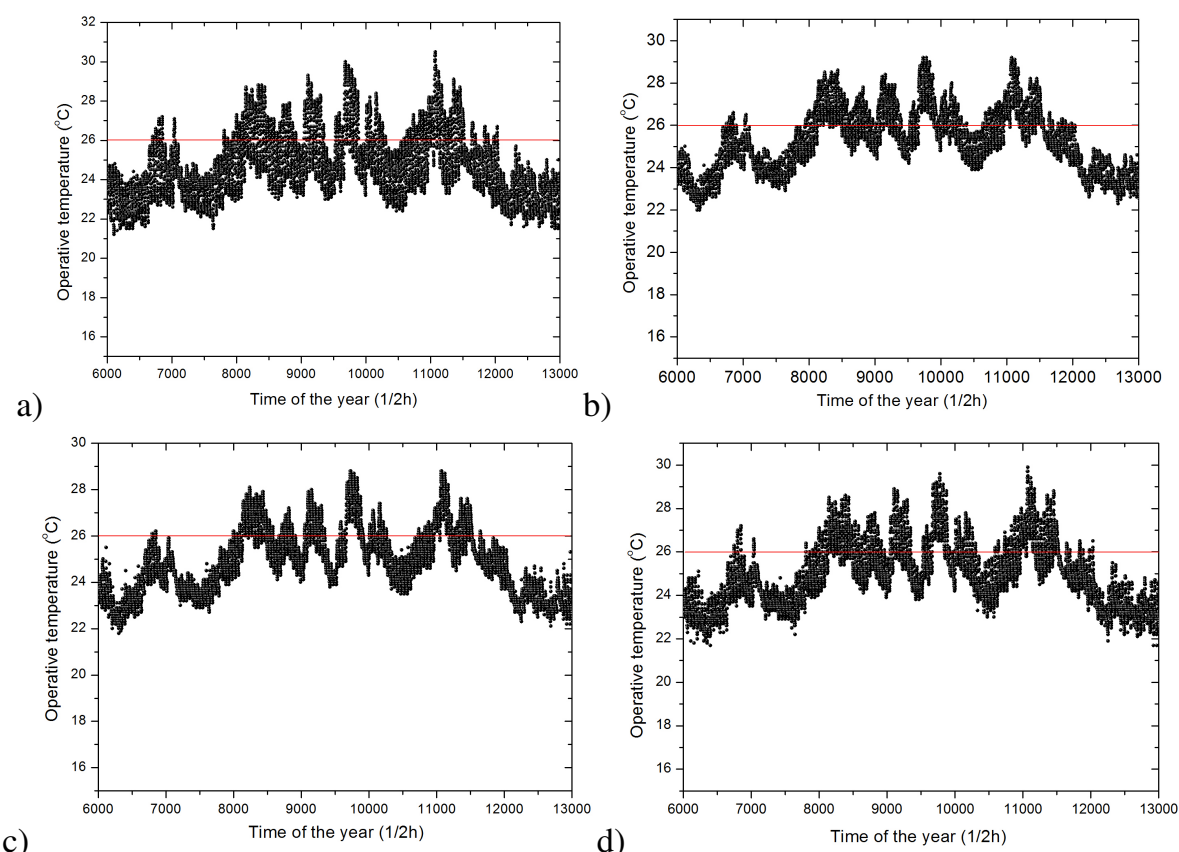


Fig. 5. Operative temperature during summer months a) zone 2 –living b) zone 3 – office c) zone 4 – bedroom d) zone 6 – master bedroom

It can be observed from Figure 5 that the operative temperature during the summer period can be higher than 26°C. This is particularly noticed for the thermal zone 2 which has the major internal heat gains. The operative temperature overpasses the 26°C limit in 9% of the year total time or 25% during four months of summer. During the periods when the thermal comfort cannot be ensured by the ventilation strategies then it is necessary to use an air cooling system. If no ventilation strategy is put in place than the overheating time would have been higher than 60% of the cases (summer months). With the chilled air from the ground heat exchanger and with an increased ventilation rate it was possible to reduce the indoor air temperatures with up to 7°C if compared to the case were no measures were taken. Taking a closer look on the data from four days of summer conditions (high outdoor air temperatures and radiation) we can notice that the operative temperature barely passes for 2÷5 hours the 28°C. Living area is a sensible zone especially because of the higher internal heat gains and proximity to the overheated greenhouse. As concerns the relative humidity inside the zones the average value is around 57% during the warmest days of the year.

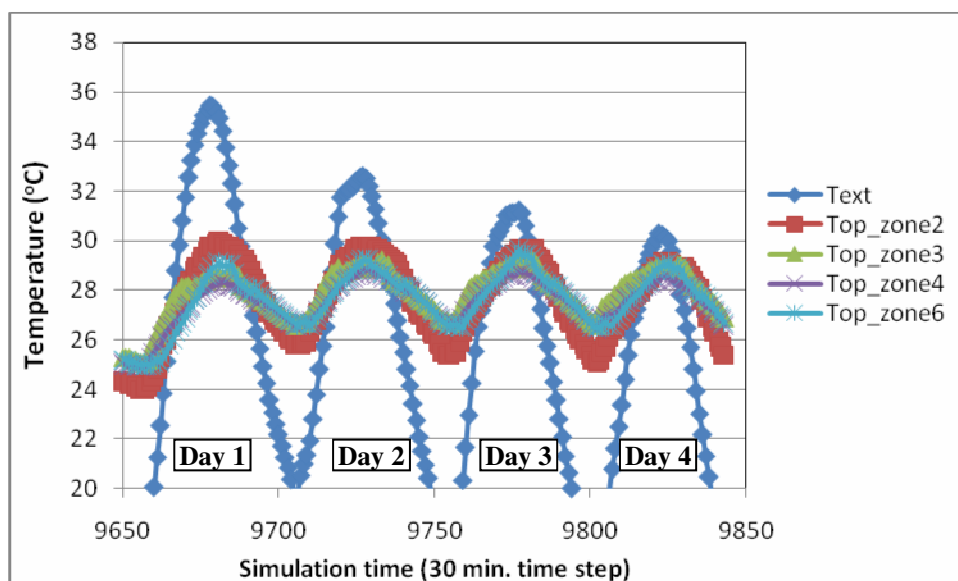


Fig. 6. Four days operative temperature variation of the thermal zones

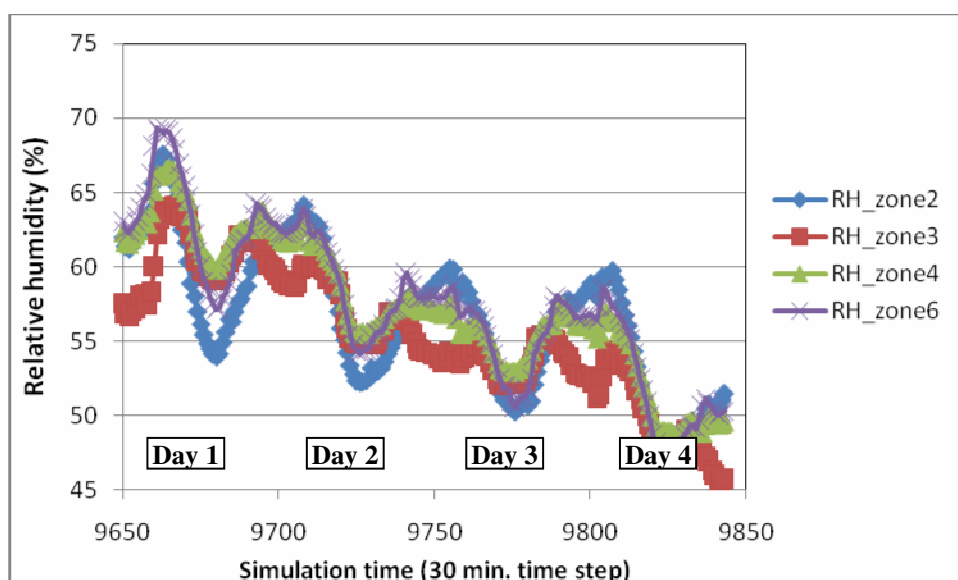


Fig. 7. Four days relative humidity variation of the thermal zones

6. Conclusions

In this article it was discussed the thermal comfort inside a passive house during the summer months. The SES ECO passive house project was first presented in terms of architecture and envelope insulation. Using specialized computer software the house was simulated in a virtual environment that corresponds to Bucharest weather data. The house was divided in multiple thermal zones with specific occupancy, heat gains and set point temperatures profiles. The house is adjacent to a greenhouse that is advantageous for the ventilation strategies during winter season but has the inconvenient of overheating during summer. The indoor space must assure an acceptable level of thermal comfort for the occupants. To reduce the overheating

periods several strategies were used: ground heat exchanger, higher ventilation rates (especially during night time) and controllable window blinds. In most of the cases, the operative temperature was lower than 26°C which is a proof that despite the high level of internal heat gains and risk of overheating, the applied methods have an important impact on the thermal comfort. Even if Bucharest climate can be very unfriendly during the summer period, inside the passive house a pleasant environment is achieved (average building temperature < 28°C) and only a small amount of energy would be necessary to avoid completely the overheating.

Acknowledgements

This work was supported by the grants of the Romanian National Authority for Scientific Research, CNCS – UEFISCDI, project numbers: PN-II-ID-PCE-2011-3-0835 and PN-II-PT-PCCA-2011-3.2-1212.

References

- [1] Feist W., Schinieders J., Dorer V., Haas A., Re-inventing Air heating: Convenient and Comfortable Within the frame of the Passive House Concept, Energy and Buildings, Volume 37, Year 2005, Pages 1186-1203
- [2] Schnieders J., Hermelink A., CEPHEUS Results: Measurements and Occupants' Satisfaction Provide Evidence for Passive Houses Being an Option for Sustainable Building, Energy Policy, Year 2006, Volume 34, Number 2, Pages 151-171.
- [3] Passivhaus Institute, Web page: <http://www.passiv.de/>
- [4] S.A. Klein, et al., TRNSYS-Reference Manual, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, Madison, WI (USA), 2000.
- [5] Directive 2002/91/EC of the European parliament and of the council of December 16, 2002 on the energy performance of buildings.
- [6] Catalina T., Iordache V., Caracaleanu B., Multiple regression model for fast prediction of the heating energy demand, Energy and Buildings, Year 2013, Volume 57, Pages 302-312.
- [7] Catalina, T., Iordache V., IEQ assessment on schools in the design stage, Building and Environment, Year 2012, Volume 49, Pages 129-140.
- [8] ANSI/ASHRAE 55-2010, Standard 55-2010 -- Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy

Piața certificatelor verzi și investițiile în surse de energie regenerabile*

Green certificates market and investments in renewable energy sources

Pavel Atănăsoae

Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava
Str. Universității 13, 720229, Suceava, Romania
E-mail: atanasoae@eed.usv.ro

Rezumat. În lucrare se face o analiză a evoluției pieței certificatelor verzi în România și a modului în care investițiile în surse de energie regenerabile au fost influențate de sistemul de promovare prin certificate verzi. De asemenea, se prezintă posibilitățile de sprijinire a micilor producători cu referire la producerea energiei din surse regenerabile la nivelul clădirilor publice, comerciale sau rezidențiale.

Cuvinte cheie: certificate verzi, surse de energie regenerabile

Abstract. The paper presents an analysis of the green certificates market evolution in Romania and the way that investments in renewable energy sources were influenced by the promoting system by using green certificates. It also presents the possibilities of supporting the small producers referring to producing energy from renewable sources for public, commercial or residential buildings.

Key words: green certificates, renewable energy sources

1. Introducere

Investițiile în surse regenerabile de energie (SRE) sunt mult mai mari decât în cazul tehnologiilor utilizând combustibilii fosili. Din acest motiv, unele state membre ale Uniunii Europene (UE) au adoptat o serie de măsuri pentru încurajarea investițiilor în surse regenerabile de energie și pentru îndeplinirea obiectivului European: 20% din energia generată la nivelul anului 2020 în UE să provină din surse regenerabile (Directiva 2009/28/CE).

În prezent, există în UE o serie de scheme de sprijin operaționale care s-au axat pe energia electrică obținută din surse regenerabile (E-SRE) [1], [2], [3]. Scopul acestor scheme este să permită, treptat, dezvoltarea de noi tehnologii de producere utilizând sursele regenerabile de energie fără ajutor public. Există diverse instrumente de piață folosite de guvernele statelor membre ale UE pentru sprijinirea producerii energiei electrice din surse regenerabile de energie, unele state au implementat o serie de sisteme de sprijin financiar și pentru încălzire și răcire.

* Lucrare inclusă în programul conferinței "Romanian Conference on Energy Performance of Buildings (RCEPB 2013)"

Acestea pot fi împărțite în sprijin pentru investiții (subvenții de capital, scutiri sau reduceri la achiziționarea de bunuri) și în sprijin pentru operare (subvenții de preț, certificate verzi, scheme de licitație și scutiri sau reduceri de taxe).

Sistemul de prețuri fixe „feed-in tariffs” a fost adoptat de către Germania în anul 2000 și a fost preluat de state precum Franța, Danemarca, Spania, Italia, Republica Cehă și Marea Britanie (în Marea Britanie, acest sistem este folosit doar pentru energia electrică folosită pentru activități domestice).

Sistemul constă în achiziția, de către producători, furnizori sau consumatori, de energie electrică produsă în surse regenerabile la un preț fix (feed-in tariff), a cărui valoare este stabilită în funcție de sursa regenerabilă utilizată și de cantitatea de energie produsă. Scopul prețului fix este de a se asigura că energiile regenerabile pot concura sursele convenționale de energie. Totodată, stabilește un nivel de siguranță pentru investițiile pe termen mediu și lung în domeniul surselor regenerabile de energie, încurajând contractele pe termen lung pe o durată de 10-20 de ani. În cazul acestui sistem, nu există limită în ceea ce privește cantitate de energie produsă.

Sistemul de cote obligatorii și certificate verzi este utilizat în state precum Marea Britanie, România, Suedia, Belgia, Italia și Polonia.

Sistemul de cote obligatorii reprezintă un mecanism de promovare a producerii de energie electrică din surse regenerabile prin achiziția de către furnizori a unor cote obligatorii de energie electrică produsă din aceste surse în vederea vânzării către consumatori. Prețul de achiziție este stabilit pe baze concurențiale.

Certificatul verde este un document care atestă o cantitate de 1MWh de energie electrică produsă din surse regenerabile de energie. Certificatul verde are teoretic valabilitate nelimitată și se poate tranzacționa distinct de energia electrică asociată acestuia, pe o piață a contractelor bilaterale sau pe piața centralizată de certificate verzi. Prețul certificatelor verzi variază într-un interval $[P_{\min} \div P_{\max}]$ stabilit de guvern și acoperă diferența dintre costul producerii de energie regenerabilă și prețul de piață. Prețul minim este impus pentru protecția producătorilor iar prețul maxim pentru protecția consumatorilor.

Stimulentele fiscale precum scutirile sau reducerile de taxe și impozite pot fi folosite pentru a încuraja investițiile în producția de energie electrică din surse regenerabile de energie. Acest sistem este folosit numai în două țări: Finlanda și Malta. De exemplu, Finlanda a folosit combinația dintre subvențiile pentru investiții și reducerea de taxe și impozite pentru producția de energie din biomasă. Deoarece nu poate fi aplicată și în cazul energiei eoliene, această țară dorește introducerea sistemului *feed-in tariffs* pentru energia eoliană și pentru biogaz.

Sistemele de licitație sunt instrumente prin care guvernele emit cerere de oferte pentru companiile interesate în furnizarea de energie electrică din surse regenerabile de energie la un preț fix. Oferta cea mai competitivă primește contractul. Costurile suplimentare ale producției de energie electrică sunt plătite de către consumatori. Acest sistem a fost folosit doar de două state membre, Franța și Irlanda, care au trecut între timp la sistemul *feed-in tariffs*, combinat uneori cu sistemul de licitație. Danemarca a folosit acest sistem doar pentru dezvoltarea proiectelor de energie eoliană din zona țărmurilor.

Mai multe țări au pus în aplicare sisteme similare celor pentru E-SRE pentru încurajarea utilizării surse regenerabile de energie pentru încălzire și răcire. Cele mai multe dintre ele sunt scheme de stimulare financiară care includ: subvenții pentru instalații de încălzire din surse regenerabile, credite privilegiate pentru a reduce costurile investițiilor, stimulente fiscale.

2. Promovarea surselor regenerabile de energie în România pentru producerea energiei electrice

Ca membru al UE, România și-a asumat prin tratatul de aderare o serie de obiective privind ponderea pe care energia verde o va avea în consumul de electricitate la finalul anului 2020.

Pentru încurajarea și susținerea producției de energie electrică din surse regenerabile a fost conceput un ansamblu de reguli care se bazează pe existența certificatelor verzi și pe un sistem de cote obligatorii, sistem prin care *furnizorii* de energie electrică sunt obligați să cumpere, într-o anumită cantitate, energie electrică produsă din aceste surse în vederea vânzării către consumatori [4], [5].

În cazul acestei combinații, cantitatea de energie electrică este stabilită de guvern iar prețul certificatelor verzi de către piață. Pentru fiecare unitate de energie electrică produsă din surse regenerabile (1 MWh) livrată în rețea, producătorii primesc un număr de certificate verzi în funcție de tehnologia utilizată, care pot fi vândute, separat de energia electrică produsă, pe piața certificatelor verzi (tabelul 1).

Tabelul 1

Sistemul de promovare a E-SRE în România

Tip SRE	Tip grup/centrală electrică	Număr de CV/MWh	Durata [ani]
1.Energie hidroelectrică – utilizată în centrale electrice cu $P_i \leq 10$ MW	noi (puse în funcțiune după 1 ian. 2004)	3 CV	15
	re tehnologizate	2 CV	10
	puse în funcțiune până la 1 ian. 2004 și neretehnologizate	0,5 CV	3
2.Energie eoliană	noi	2 CV până în 2017	15
		1 CV din 2018	
3.Biomasă, biogaz, biolichide, energie geotermală, gaz din procesarea deșeurilor, gaz de fermentare a nămolurilor din instalațiile de epurare a apelor uzate	noi	3 CV	15
	cogenerare de înaltă eficiență (suplimentar peste 3 CV)	1 CV	15
4.Energie solară	noi	6 CV	15

La rândul lor, furnizorii de energie electrică sunt obligați să achiziționeze anual un număr de certificate verzi, proporțional cu cantitatea de energie electrică vândută consumatorilor deserviți, egal cu cota de energie electrică din surse regenerabile de energie impusă pentru anul în curs (tabelul 2).

Dovada îndeplinirii acestei cote obligatorii este chiar numărul de certificate verzi achiziționate. Prețul certificatului verde variază între 27 și 55 de euro. Prețul minim este impus pentru protecția producătorilor iar prețul maxim pentru protecția consumatorilor.

Tabelul 2

Cotele anuale obligatorii de E-SRE pentru perioada 2010-2020

Anul	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Cota [%]	8,3	10	12	14	15	16	17	18	19	19,5	20

Furnizorul care nu realizează cota obligatorie anuală este obligat să plătească contravaloarea certificatelor verzi neachiziționate la valoarea de 110 euro pentru fiecare certificat neachiziționat, calculată în lei la valoarea medie a cursului de schimb stabilit de BNR pentru luna decembrie a anului precedent.

Suma astfel rezultată este colectată în Fondul pentru Mediu în vederea finanțării producerii de energie din surse regenerabile de către persoanele fizice care investesc în capacități energetice cu putere instalată de până la 100 kW.

Autorizația de înființare este independentă de autorizația de construire și este necesară pentru capacități energetice cu o capacitate instalată de peste 1 MW.

Etapile realizării și punerii în funcțiune a unei capacități de producere a energiei electrice se prezintă în figura 1.

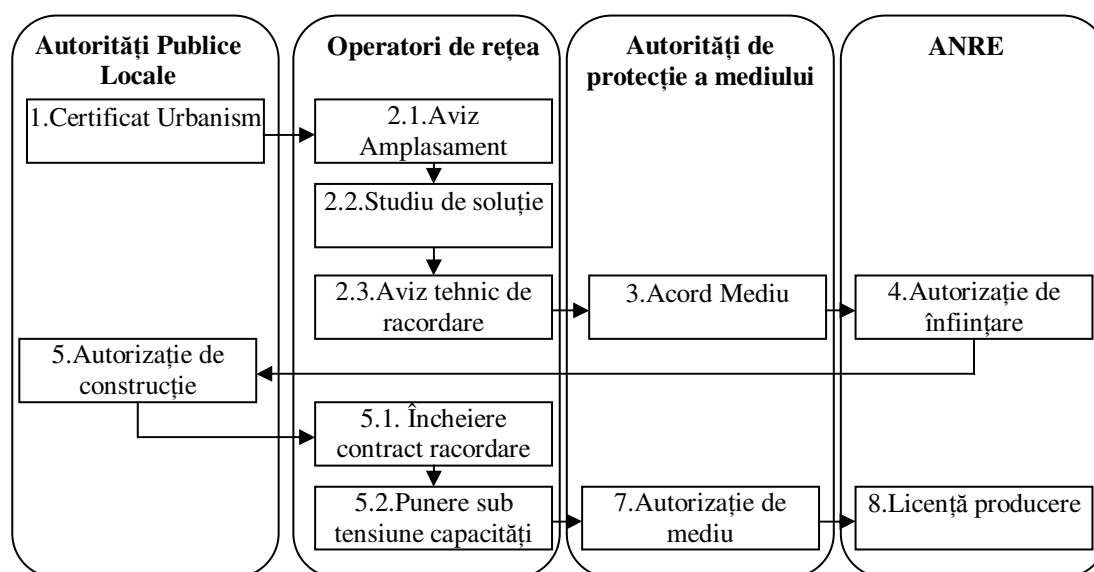


Fig.1. Etapele realizării și punerii în funcțiune a unei capacități de producere a energiei electrice din SRE [6].

Dacă puterea electrică instalată a capacității energetice este între 500 kW inclusiv și 1 MW inclusiv, nu este necesară obținerea unei autorizații de înființare, dar este obligatorie notificarea Autorității Naționale de Reglementare în domeniul Energiei (ANRE) privind proiectul investițional și raportarea periodică a stadiului realizării acestuia.

Dacă puterea electrică instalată este mai mică de 500 kW, aceste obligații de notificare și raportare revin operatorilor de distribuție a energiei electrice.

Producătorii de energie electrică din surse regenerabile de energie pot vinde energia electrică produsă pe piața de energie electrică astfel:

1. prin contracte bilaterale încheiate cu consumatori eligibili, la prețuri negociate;
2. prin contracte bilaterale încheiate cu furnizorii implicați din zona în care este amplasată centrala de producere a E-SRE, la cererea producătorilor care dețin centrale $\leq 1\text{MW}$, la prețuri reglementate;
3. pe piața pentru ziua următoare (PZU), la prețul de închidere al pieței.

Energia electrică vândută la preț reglementat nu mai beneficiază de certificate verzi.

Persoanele fizice și juridice care dețin unități de producere a energiei electrice din surse regenerabile cu putere instalată sub 100 kW pe loc de consum, precum și autoritățile publice care dețin capacități de producere a energiei electrice din surse regenerabile realizate, parțial sau total, din fonduri structurale beneficiază din partea furnizorilor cu care au contract de furnizare a energiei electrice, la cerere, de serviciul de regularizare, financiară și/sau cantitativă, între energia livrată și energia consumată din rețea, conform unei metodologii aprobate de ANRE.

3. Evoluția pieței certificatelor verzi și a investițiilor în surse de energie regenerabile

Capacitatea totală instalată la sfârșitul anului 2012 în unități de producție a energiei electrice din surse regenerabile de energie (E-SRE) este de 2336,82 MW.

Structura puterii instalate (centrale eoliene, centrale fotovoltaice, centrale hidroelectrice cu puteri instalate de cel mult 10 MW, centrale pe biomasă,) se prezintă în figura 2.

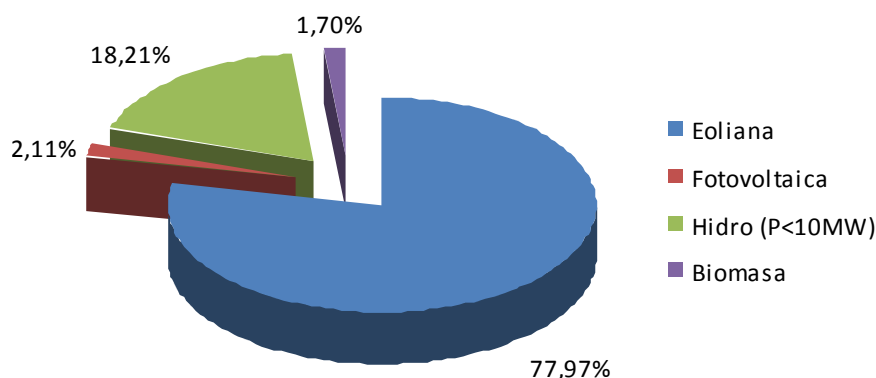


Fig. 2. Structura puterii instalate în E-SRE în anul 2012
(prelucrare date preluate website: <http://www.transelectrica.ro>)

Evoluția puterii instalate în E-SRE și implicit a investițiilor în surse de energie regenerabile începând cu anul 2007 se prezintă în figura 3.

Se observă o creștere a investițiilor în capacități de producere a energiei electrice din surse regenerabile de energie (E-SRE), în special sursa eoliană, ca urmare a implementării schemei de sprijin prin certificate verzi și cote anuale obligatorii.

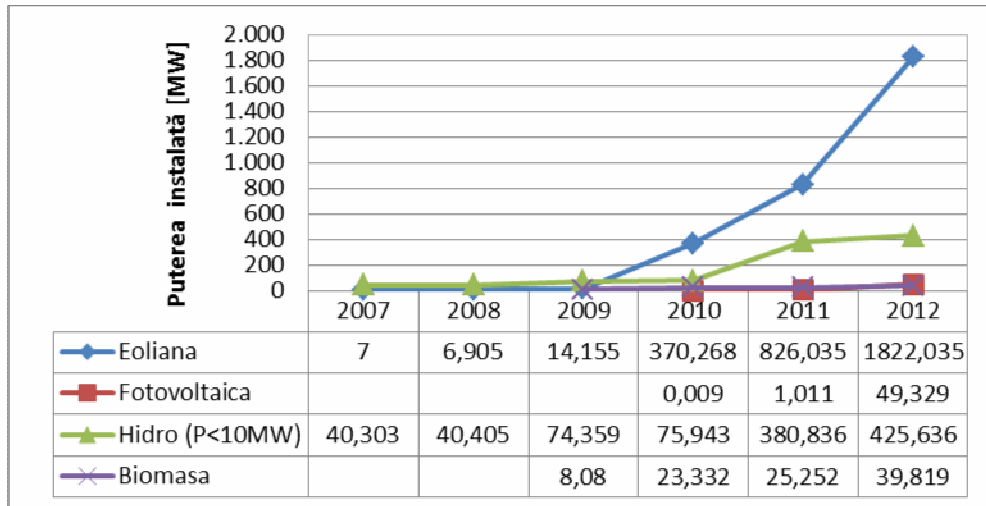


Fig. 3. Evoluția puterii instalate în E-SRE
(prelucrare date preluate website: <http://www.transelectrica.ro>)

Pentru anul 2012, cota de certificate verzi stabilită de ANRE este egală cu 0,116 CV/MWh. Evoluția a cotelor de certificate verzi legal stabilite și cotele realizate de achiziție de certificate verze de către furnizori, în perioada 2005-2012, se prezintă în figura 4.

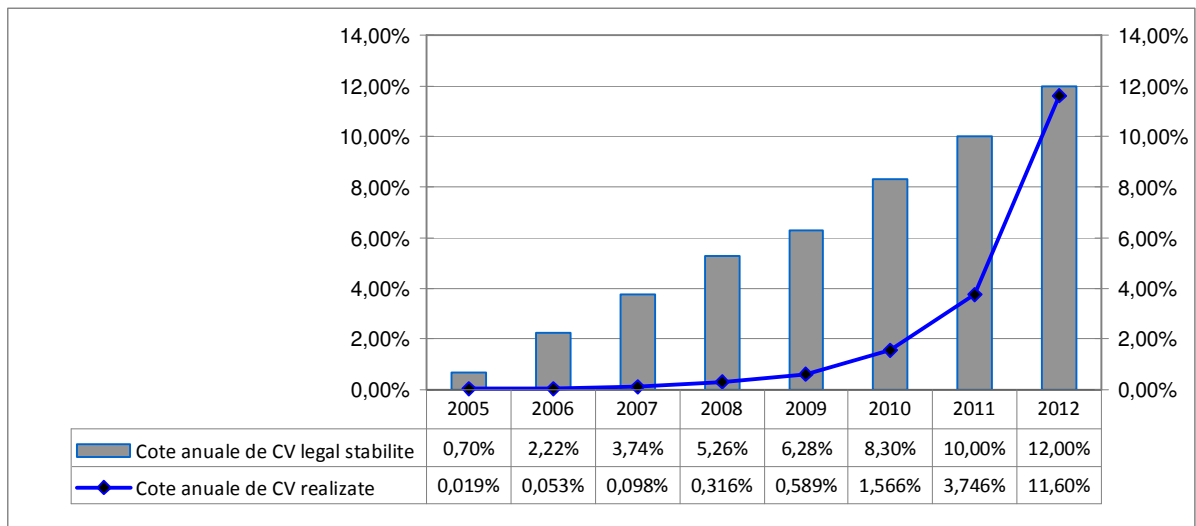


Fig. 4. Cote anuale obligatorii de achiziție de CV și cele realizate pentru perioada 2005-2012
(prelucrare date preluate website: <http://www.transelectrica.ro> și <http://www.anre.ro>)

Cota anuală de E-SRE estimată pentru anul 2012 este mai mică însă foarte apropiată de cota anuală obligatorie de energie electrică produsă din surse regenerabile în comparație cu anii anteriori.

Energia electrică realizată în anul 2012 în unitățile de producere E-SRE a fost de 34,360 TWh, ceea ce a condus la realizarea unei ponderi de E-SRE în totalul consumului brut de energie electrică al României de 11,60%.

Emisia de CO₂ evitată aferentă producției de energie electrică din surse regenerabile de energie care a beneficiat de sistemul de promovare prin certificate verzi în perioada 2005-2012 se prezintă în figura 5. Considerând o valoare medie a emisiei specifice de CO₂ (fără energie hidro și nucleară) de 901,7 gCO₂/kWh în România, valoare medie realizată în perioada 2007- 2009, rezultă că emisiile de CO₂ evitate, ca urmare a producerii de E-SRE susținută în anul 2012, a fost de cca. 3.436.056 tone CO₂.

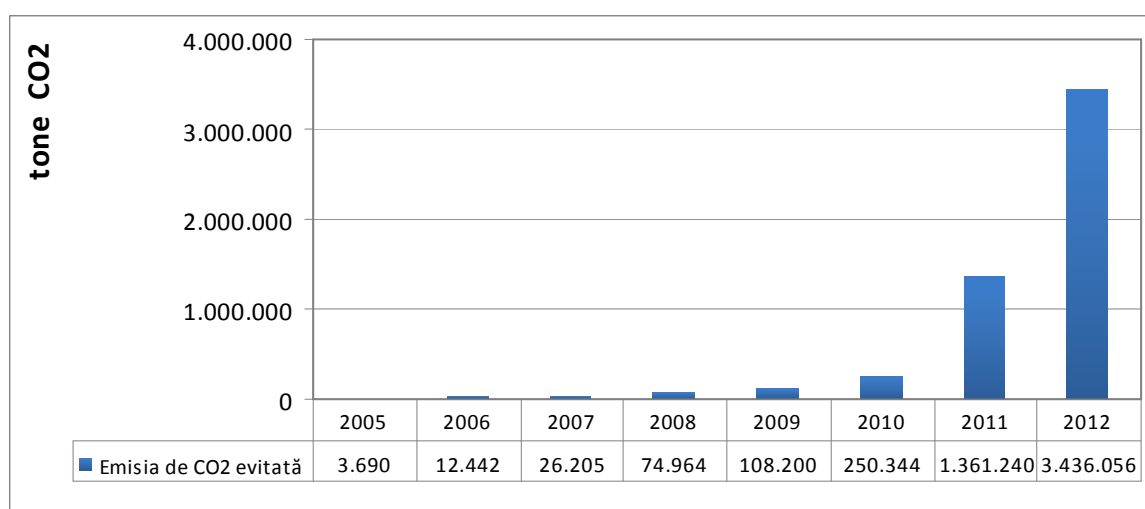


Fig. 5. Evoluția emisiei de CO₂ evitată aferentă producției de E-SRE care a beneficiat de sistemul de promovare prin CV în perioada 2005-2012.

(prelucrare date preluate website: <http://www.transelectrica.ro> și <http://www.anre.ro>)

Numărul producătorilor de E-SRE titulari de licență în anul 2012 a fost de 144 de producători (dintre care 54 utilizează energie eoliană, 46 utilizează energie hidro, 10 utilizează biomasa și 34 utilizează energie fotovoltaică), în continuă creștere față de anii anteriori [8].

Piața de certificate verzi este o piață distinctă de piața de energie electrică care funcționează pe bază de mecanisme concurențiale, respectiv pe ofertă și cerere de certificate verzi. Tranzacționarea certificatelor verzi se face, în sistem concurențial, pe piața contractelor bilaterale și/sau pe piața centralizată de certificate verzi (lunar), între producătorii de E-SRE și furnizorii consumatorilor finali de energie electrică și nu este condiționată de tranzacționarea energiei electrice aferente. Numărul de certificatelor verzi necesar unui furnizor pentru a îndeplini cota obligatorie de achiziție de certificate verzi într-un anumit an trebuie să fie egal cu produsul dintre valoarea cotei anuale obligatorii și cantitatea de energie electrică furnizată consumatorilor deserviți.

Sistemul de promovare a E-SRE influențează prețul energiei electrice la consumatorul final. Creșterea de preț estimată la consumatorul final va fi între: 2,5 – 33 Euro/MWh (maxim de 33 Euro/MWh în 2017).

În factura de energie electrică transmisă consumatorilor finali, valoarea certificatelor verzi se facturează separat față de tarifele/prețurile pentru energia electrică, precizându-se temeiul legal. Această valoare reprezintă produsul dintre valoarea cotei anuale obligatorii de achiziție de certificate (CV/MWh) estimate de către ANRE, cantitatea de energie electrică facturată (MWh) și prețul mediu ponderat al certificatelor verzi în cele mai recente 3 luni de tranzacționare încheiate.

4. Concluzii

Promovarea E-SER pe piața românească a necesitat nu numai sprijin legislativ ci și sprijin financiar. După analizarea diferitelor opțiuni de promovare a energiei electrice produse din surse regenerabile de energie, decizia a fost luată pentru sistemul de certificate verzi și cote obligatorii, combinat cu un sistem de piață pentru utilizarea lor (cumpărare și vânzare de certificate verzi).

Sistemul de cote obligatorii combinat cu comercializarea certificatelor verzi este un sistem compatibil cu principiile concurențiale de piață și promovează utilizarea surselor regenerabile de energie.

Ca urmare a implementării schemei de sprijin prin certificate verzi și cote anuale obligatorii, în anii 2011 și 2012, a avut loc o creștere semnificativă a investițiilor în capacități de producere a energiei electrice din surse regenerabile de energie (E-SER), în special sursa eoliană.

Este de așteptat ca în acest an și în anii următori să crească și investițiile în capacități de producere a energiei electrice utilizând tehnologia fotovoltaică.

Referințe

- [1] *M. Ringel*, „Fostering the use of renewable energies in the European Union: the race between feed-in tariffs and green certificates”, in *Renewable Energy* 31, 2006, pp. 1-17.
- [2] *B. Caracaleanu, G. Flamaropol*, „Legislație privind încurajarea și stimularea utilizatorilor de surse regenerabile de energie în vederea accelerării investițiilor în România în domeniul energiilor regenerabile”, A XV-a Conferință Confort, Eficiență, Conservarea Energiei și Protecția Mediului, 26-27 noiembrie 2008, UTCB.
- [3] *J. Canton, A. J. Linden*, „Support schemes for renewable electricity in the EU”, European Commission, Directorate-General for Economic and Financial Affairs, Brussels, 2010.
- [4] *I. Conecini, V. Dumbravă*, „Bursa de energie electrică”, Editura AGIR, București, 2007.
- [5] *** Legea 220/2008 pentru stabilirea sistemului de promovare a energiei din surse regenerabile de energie, cu modificările și completările ulterioare, M.O. 505/23.07.2012.
- [6] *** Planul Național de Acțiune în Domeniul Energiei din Surse Regenerabile (PNAER), 2010, http://www.minind.ro/energie/PNAER_final.pdf
- [7] *** OPCOM (Operatorul Pieței de Energie Electrică din România): <http://www.opcom.ro>
- [8] *** TRANSELECTRICA (Compania Națională de Transport a Energiei Electrice): <http://www.transelectrica.ro>
- [9] *** ANRE (Autoritatea Națională de Reglementare în domeniul Energiei): <http://www.anre.ro>

Rezultate ale auditului energetic la un hotel montan modernizat*

Results of an energy audit performed for an upgraded mountain hotel

ing. Dan Berbecaru¹, ing. Raluca Căzănescu²,
ing. Irina Grigore³, ing. Ramona Axim⁴

¹IPCT INSTALATII, str. Tudor Arghezi nr. 21, sector 2, Bucuresti, RO, berbecaru@ipctinst.ro

²IPCT INSTALATII, str. Tudor Arghezi nr. 21, sector 2, Bucuresti, RO, r.cazanescu@ipctinst.ro

³IPCT INSTALATII, str. Tudor Arghezi nr. 21, sector 2, Bucuresti, RO, irina@ipctinst.ro

⁴IPCT INSTALATII, str. Tudor Arghezi nr. 21, sector 2, Bucuresti, RO, ramona.axim@ipctinst.ro

Rezumat: Modernizarea funcțională a unui hotel presupune îmbunătățirea confortului și a calității serviciilor, dar nu numai atât. Modernizarea trebuie să urmărească și creșterea eficienței energetice a clădirii și instalațiilor aferente, aspect uneori neglijat.

În lucrarea de față se evidențiază performanțele energetice ale unui hotel modernizat, indicându-se, totodată, o serie de măsuri rezultate în urma realizării auditului energetic, măsuri care vor conduce la reducerea consumurilor energetice și implicit a cheltuielilor de exploatare.

Cuvinte cheie: hotel montan, audit energetic, investigații termografice, performanța energetică, confort termic.

Abstract: The functional upgrading of a hotel assumes not only the improvement of the comfort and services quality, but also other aspects. The upgrading and refurbishment works must have also in view to increase the energy efficiency of the building and its installations, aspect which is neglected sometimes.

The present paper highlights the energy performances of an upgraded hotel, pointing out the measures resulted from the energy audit, measures which will lead to the reduction of the energy consumptions and implicitly to the operation costs.

Keywords: mountain hotel, energy audit, thermographic investigations, energy performance, thermal comfort.

1. Introducere

Auditul energetic al unei clădiri urmărește identificarea principalelor caracteristici termice și energetice ale construcției și ale instalațiilor aferente acesteia și stabilirea, din punct de vedere tehnic și economic, a soluțiilor de reabilitare sau modernizare termică și energetică a construcției și a instalațiilor aferente acesteia, pe baza rezultatelor obținute din activitatea de analiză termică și energetică a clădirii.

* Lucrare inclusă în programul conferinței "Romanian Conference on Energy Performance of Buildings (RCEPB 2013)"

Lucrarea de față reprezintă o prezentare a analizei efectuate și a concluziilor rezultate la elaborarea auditului energetic pentru un hotel montan, care a fost supus unor lucrări de reparații capitale, modernizare și extindere, în scopul creșterii categoriei de clasificare din punct de vedere al confortului și serviciilor oferite. Hotelul este amplasat în zona climatică IV, fost construit în 1974-1976 și modernizat în 2008-2012.

În urma lucrărilor de modernizare, hotelul are 136 camere, 1 restaurant cu 250 locuri, sala de mic dejun, lounge și club, bar, zona de SPA cu 3 tipuri de sauna (uscata, rusească și infraroșu), piscina interioară, jacuzzi, săli de conferință, spații tehnice și de depozitare la subsol.

Regimul de înălțime este 2S+D+P+7E+M și aria desfășurată construită: $A_{dc} = 11077,3 \text{ m}^2$.

2. Material și metodă de determinare a performanțelor energetice ale clădirii

Auditul energetic al clădirii s-a efectuat în luna martie 2012, în conformitate cu prevederile "Metodologiei de calcul al performanței energetice a clădirilor", MC001 [1] și s-a focalizat pe sezonul rece 2011/2012.

În cadrul etapei de stabilire a performanței energetice, pentru clădirea investigată, s-a realizat analiza termică și energetică a clădirii, prin parcurgerea următoarelor etape:

- analiza proiectelor clădirii și a documentațiilor care au stat la baza execuției lucrărilor și achiziției de echipamente;
- analiza elementelor caracteristice privind amplasarea clădirii în mediul construit;
- culegerea datelor din teren în scopul evaluării termoeconomice și funcționale a clădirii și instalațiilor aferente;
- investigații termografice ale anvelopei clădirii în sezonul de încălzire;
- obținerea informațiilor din teren privind funcționarea și exploatarea clădirii;
- determinarea prin calcul a performanțelor energetice;
- interpretarea rezultatelor obținute și indicarea aspectelor legate de performanța energetică a clădirii, atât în ceea ce privește protecția termică a construcției, cât și gradul de utilizare a energiei la nivelul instalațiilor aferente acestora;
- concluziile asupra evaluării și evidențierea disfuncționalităților instalațiilor clădirii (încălzire, ventilație – climatizare, preparare apă caldă de consum, instalații electrice), care au drept consecințe neasigurarea parametrilor de confort și consumuri energetice mari;
- soluții și măsuri recomandate de creștere a performanței energetice.

3. Rezultate obținute

3.1. Vizită în teren și analiză proiect

În urma vizitelor în teren, a analizei proiectelor clădirii și a documentațiilor care au stat la baza execuției lucrărilor și achiziției de echipamente s-au constatat următoarele:

• Anvelopa clădirii

- pereții exteriori ai hotelului sunt fie pereți de rezistență din beton armat (pe fațadele laterale), fie combinații de beton armat pe sâmburii centrali și zidărie, plasați la exterior cu 5 cm de polistiren. În zonele de restaurant, sală mic dejun, piscină și săli

de conferințe soclul este din zidărie placată cu polistiren urmat de perete cortină cu tâmplărie de aluminu și geam termoizolant;

- tâmplăria exterioară la spațiile de cazare și spațiile anexe din etajele 1-8 este tâmplărie din aluminu cu geam termoizolant.
- clădirea are acoperiș de tip șarpantă, atât peste etajele 4÷ 8 (mansarda) cât și peste zonele de piscină, conferințe, restaurant, din demisol, parter și etaj 1, care ies din gabaritul corpului central. Structura acoperișului la suprafetele din demisol, parter și etaj 1 este de tip panou sandwich, montat pe structură metalică, cu vată minerală de 8 cm la interior; pe aceste acoperișuri sunt prevăzute și luminatoare tip Velux. În ceea ce privește acoperișul la etajele superioare, acesta este pe șarpantă mixtă – beton/lemn, cu termoizolație de vată minerală de 8 cm și învelitoare din tablă.
- planșeul peste subsolul neîncălzit este placa din beton armat de 20 cm, netermoizolată.

• Instalațiile clădirii

Necesarul de căldură pentru încălzire este furnizat de o centrală termică proprie echipată cu 4 cazane de apă caldă de 800 kW fiecare, combustibil gaze naturale, care este amplasată la subsol. Soluțiile de încălzire adoptate sunt:

- cu ventilo-convectoare de tavan sau de perete în spațiile cu destinația de camere de cazare, sală mic dejun, restaurant și birouri;
- cu convectoare de fereastră în camerele de cazare;
- cu radiatoare în spații tehnice și grupuri sanitare parter și demisol;
- sisteme de încălzire în pardoseală în grupurile sanitare din unitățile de cazare, zona de piscină și SPA, holuri intrare, sala mic dejun, longie;
- încălzire cu aer cald cu baterii de încălzire, la centralele de ventilare și climatizare.

Hotelul este prevăzut cu instalații de climatizare în următoarele spații:

- camerele de cazare, coridoarele și holul central la etajele 1 - 7
- barul de la mansardă
- spațiile de conferință, hol central, lobby, recepție, club, sală mic dejun la parter;
- sala de mese și zona de SPA din demisol.

Tratarea aerului proaspăt și recirculat necesar ventilării și climatizării spațiilor se realizează în 14 centrale de tratare a aerului CTA.

Grupurile sanitare, oficiile și spațiile tehnice beneficiază de instalații proprii de ventilare prevăzute cu exhaustoare.

Apa caldă de consum se prepară în 4 boilere de 1000 l fiecare, alimentate cu agent primar de la cazane.

Hotelul este prevăzut cu un sistem de supraveghere și conducere a funcționării instalațiilor (BMS).

3.2. Rezultatele investigațiilor termografice

Înregistrările au fost efectuate în conformitate cu reglementările tehnice în vigoare [2] pe data de 29.03.2012, între orele 6²⁰ – 7⁵⁰.

Obiectivul înregistrărilor a fost identificarea acelor zone care prezintă valori anormale de temperatură. În timpul înregistrărilor clădirea a fost încălzită în mod uniform, pentru a asigura condiții cât mai uniforme de expunere.

Valorile medii ale temperaturii și umidității relative ale aerului interior, pe durata înregistrărilor au fost:

$$t_{\text{aer}} = 24.2 - 25.2 \text{ }^{\circ}\text{C}, \text{ respectiv } \varphi_{\text{aer}} = 40 \div 65 \%$$

Valorile medii ale temperaturii și umidității relative ale aerului exterior pe durata înregistrărilor au fost:

$$t_{\text{aer}} = 2.4 - 5.8^{\circ}\text{C}, \text{ respectiv } \varphi_{\text{aer}} = 39 \div 71 \%$$

Valorile au fost înregistrate cu data - loggerul EBRO, cu o frecvență de înregistrare de 1 minut.

În sinteză, investigațiile termografice au evidențiat următoarele deficiențe majore ale anvelopei clădirii:

- a) Punți termice liniare pe fațadele principale (vest, est) ale clădirii, zonele de cazare, la intersecția planșeelor cu fațada; temperaturi ridicate ale ramelor ferestrelor (aluminiu) și ale ochiurilor de geam sablate.

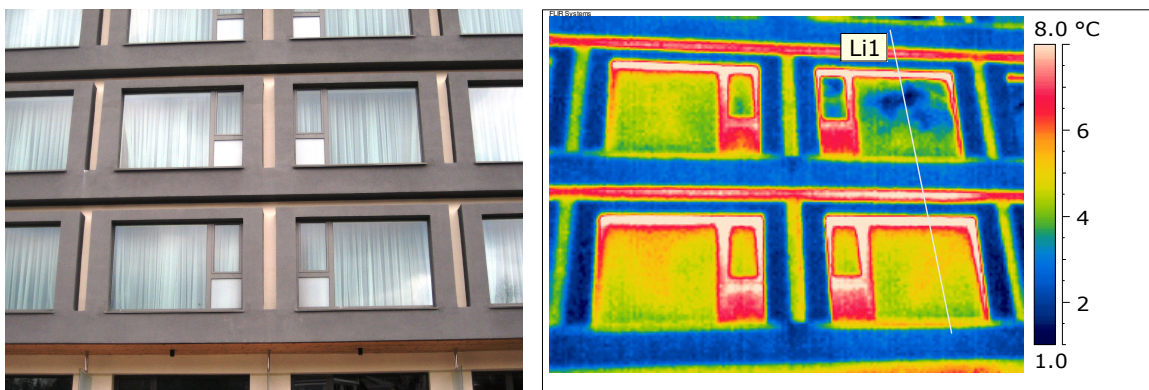


Fig 1. Punți termice fatade

- b) Nivel redus de termoizolare la intradosul planșeelor în consolă de pe fațada sud

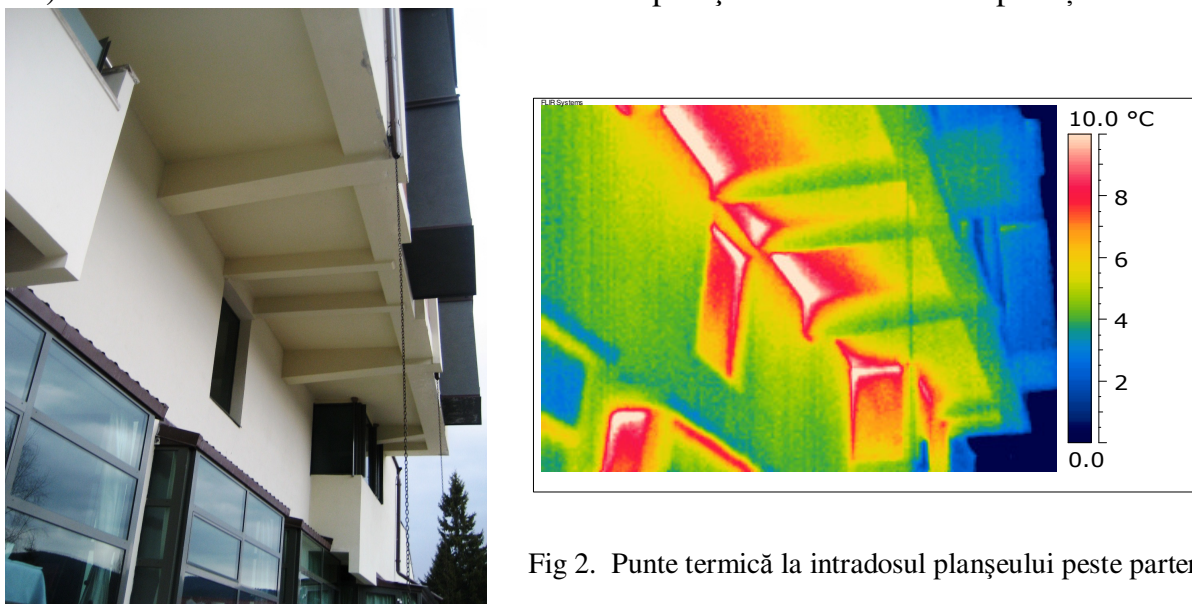


Fig 2. Punte termică la intradosul planșeului peste parter

- c) Lipsa termoizolării pereților subsolului, a soclului și a zonelor de contact cu solul

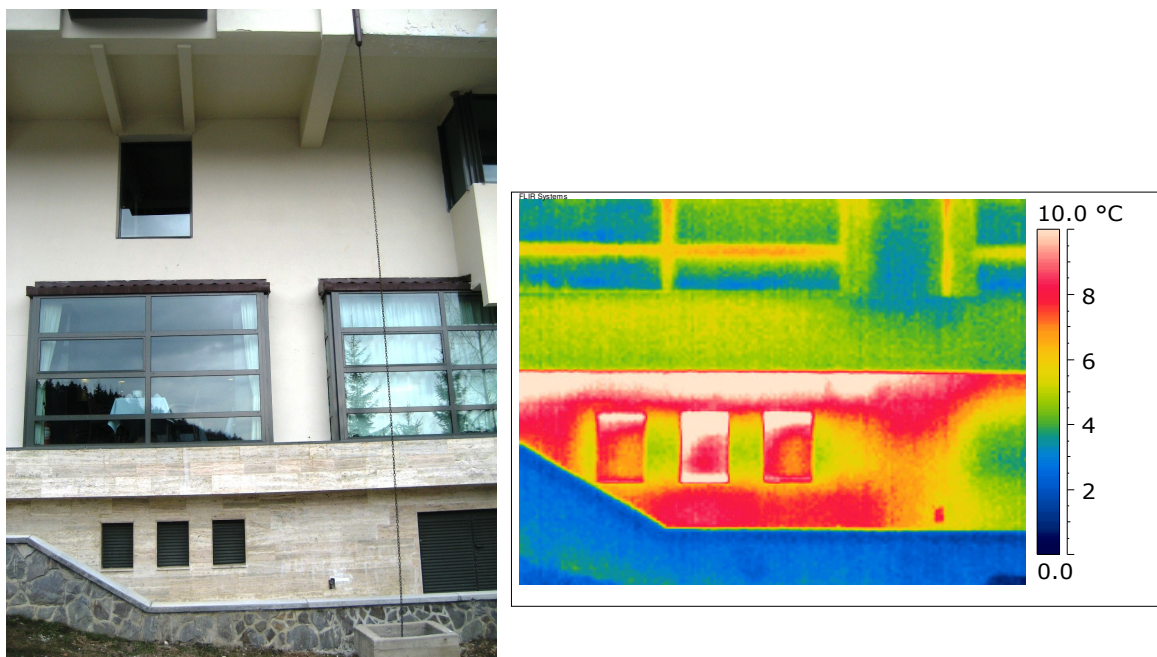


Fig 3. Punți termice la pereții subsolului

- d) Acoperișul sălilor de conferință și al piscinei prezintă zone cu temperaturi ridicate care semnalează deficiențe de izolare termică: zone netermoizolate sau cu izolație termică degradată, exfiltrații de aer cald la coama învelitorii, punți termice la grinzile de acoperiș.

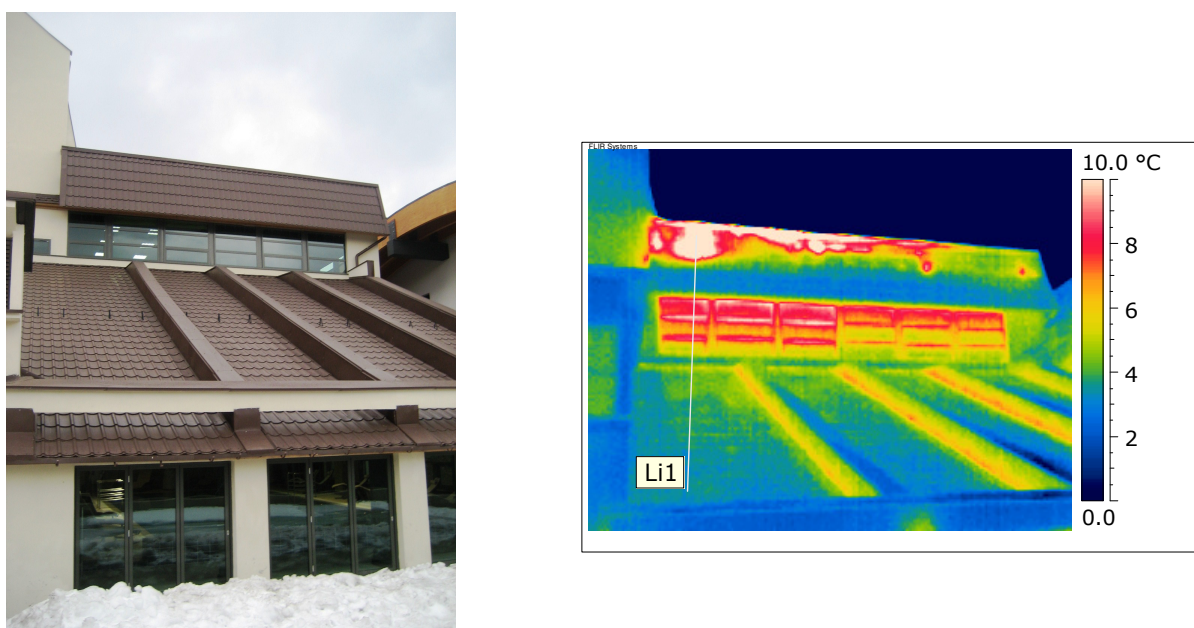


Fig 4. Punți termice la acoperiș

3.3 Rezultate obținute la determinarea prin calcul a performanțelor energetice

S-a calculat coeficientul global de izolare termică, G [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$], care este o caracteristică de performanță termooenergetică a clădirii, reprezentând pierderile orare de căldură prin elementele de închidere ale acesteia, pentru o diferență de temperatură de un grad între interior și exterior, raportate la volumul încălzit al acesteia. A rezultat un coeficientul global de izolare termică $G = 0,254 \text{ W}/\text{m}^3\text{K}$, mai mare decât $G_{\text{ref}} = 0,217 \text{ W}/\text{m}^3\text{K}$, fapt ce ilustrează că nu este îndeplinit criteriul de performanță termooenergetică globală al clădirii.

Rezistențele termice corectate constituie date de bază pentru determinarea consumului de energie termică pentru încălzirea clădirii.

Rezistențele termice ale elementelor de construcție ale anvelopei clădirii (R') s-au determinat prin calcul termotehnic și au fost comparate cu rezistențele termice minime normate (R'_{min}).

Tabelul 1

Rezistențe termice comparate			
Elementul de construcție	R' [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]	R'_{min} [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]	Satisfacerea exigenței de izolare termică
PE	0,92...1,48	1,8	Nu
PE	2,28...2,53	1,8	Da
FE	0,4...0,52	0,77	Nu
P_{subsol}	1,3	2,9	Nu
Intrados	1,91	4,5	Nu
$P_{\text{terasa/acoperis}}$	1,64...2,48	5	Nu

Se constată că marea majoritate a elementelor de construcție ale anvelopei clădirii nu îndeplinesc exigența de izolare termică.

Rezistența termică corectată medie pe toată anvelopa clădirii, $\bar{R}$, determinată pe baza valorilor ariilor elementelor de construcție și a rezistențelor termice corectate are valoarea: $\bar{R} = 1,07 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$.

Calculul consumurilor anuale de energie pentru încălzire, apă caldă de consum, iluminat, climatizare și ventilație mecanică s-a realizat conform metodei de calcul reglementate, cu ajutorul programului de calcul specializat AllEnergy® [3].

Tabelul 2

Consumuri energetice specifice		
Consum de energie specific pentru:	kWh/an·m ²	Clasa energetică
Încălzire	188,6	D
Apă caldă de consum	61,5	D
Climatizare	13,3	A
Ventilație mecanică	52,1	G
Iluminat	6,1	A
TOTAL	321,6 ^{*)}	C

^{*)} cu cca. 20% mai mare decât consumul mediu facturat

Ponderile consumurilor anuale de energie pe utilități în consumul total de energie sunt ilustrate în figura următoare ($100\% = 321,66 \text{ kWh/an}\cdot\text{m}^2$):

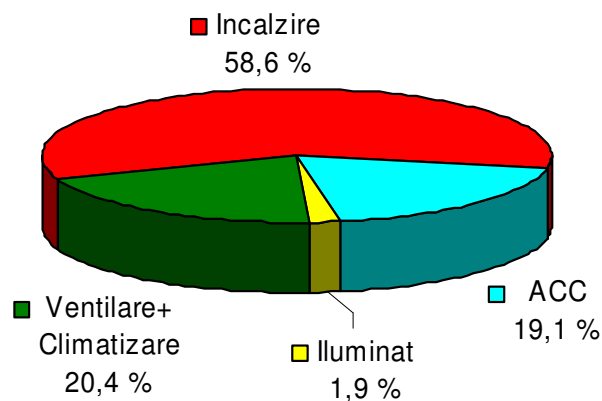


Fig. 5. Ponderile consumurilor anuale de energie

3.4 Consumuri energetice în exploatare și deficiente în funcționarea instalațiilor

Regimul termic în iarna 2011/2012 a fost unul normal, temperaturile exterioare medii fiind apropiate de valorile standard (tabelul 3). În aceste condiții consumurile înregistrate de energie ale centralei termice pentru încălzire și apa caldă de consum confirmă, în general, valorile mari evidențiate cu ocazia certificării energetice. În tabelul 4 sunt date consumurile săptămânale de energie înregistrate la centrala termică în perioada 12.03÷14.05.2012.

Tabelul 3

Temperaturi exterioare, $\theta_{e,k}$ [°C]

	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	Media sezoniera
SR 4839	10.2	5.4	1.1	-3.1	-5.2	-4.1	-0.8	4.5	9.6	12.7	3.03
Sezon rece 2011/2012	10.25	6.65	0.6	-3.65	-3.7	-2.7	0.2	5	9.5	13.1	3.52

Tabelul 4

Consumuri de energie termică și electrică înregistrate la centrala termică

Temp. ext. medie săptămânală [°C]	Săptămâna	Consum de energie la centrala termică	
		Energie termică [kWh/sapt]	Energie electrică [kWh/sapt]
-0.24	12.03 ÷ 18.03	86531.36	5840
1.86	26.03 ÷ 01.04	73397.84	5680
6.03	02.04 ÷ 08.04	63163.16	5760
13.28	08.05 ÷ 14.05	36629.90	4533

Se constată tendința normală de scădere a consumului săptămânal de energie termică, înregistrat la centrala termică, cu creșterea temperaturii exterioare.

La energia electrică aferentă centralei termice se remarcă consumul mare în săptămână 02.04.÷08.04, necorelat cu temperatura exterioară.

Unul dintre factorii care influențează consumul de energie este gradul de ocupare al hotelului; acesta se exprimă prin indicatorul „coeficientul de utilizare al capacității de cazare” – CUC.

$$CUC = \frac{nr. \text{ innoptari turist}}{nr. \text{ locuri cazare}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

Este evident că la un grad de ocupare (CUC) mai redus, consumul de energie, pentru aceeași temperatură exterioară, trebuie să fie mai redus.

Aceasta datorită faptului că regimurile normale de încălzire ale camerelor de hotel sunt: „ocupat” 24°C, „în așteptare” 18...20°C, „liber” 15...16°C.

În tabelul 5 se prezintă consumurile zilnice de energie la centrala termică, grupate pe zile cu temperaturi exterioare similare. Se evidențiază scăderea consumurilor energetice cu reducerea gradului de ocupare, dar diferențele de consum nu sunt substanțiale; se constată și cazuri anormale în care la aceeași temperatură exterioară consumul de energie este mai mare la un grad de ocupare mai mic (la $t_e = -2,26^\circ\text{C}$, la $t_e = 5,35^\circ\text{C}$).

În tabelul 6 sunt date unele consumuri zilnice de energie electrică pentru ventilare înregistrate la centralele de tratare a aerului (CTA-uri), grupate pe grade de ocupare similare. Este evident că consumurile de energie electrică pentru ventilare trebuie să scadă cu reducerea gradului de ocupare, lucru ce nu se întâmplă în zilele de 6.05 și 7.05 comparativ cu 14.05.

Tabelul 5

**Consumuri zilnice de energie înregistrate
la centrala termică**

Temp. ext. medie zilnică [$^\circ\text{C}$]	CUC [%]	Energie termică CT		Energie electrică CT kWh/zi
		$\text{m}^3_{\text{gaz}}/\text{zi}$	kWh/zi	
-3.97	73.48	1687	16633.82	1040
-4.14	6.82	1583	15608.38	1120
-2.26	7.58	1579	15568.94	1040
-2.36	15.15	1087	10717.82	720
-2.45	11.28	1220	12029.2	880
-1.15	93.94	1396	13764.56	880
-1.32	90.84	1341	13222.26	800
-1.34	3.76	1194	11772.84	880
5.35	4.51	884	8717	800
5.41	50.38	1000	9860	880
5.39	17.42	879	8666.94	720
6.00	11.36	859	8469.74	640
6.01	59.85	893	8804.98	640

Tabelul 6

Consumul de energie electrica la CTA-uri

Data	CUC [%]	Consumul de energie electrica la CTA-uri [kWh/zi]
6.05	24.4	254.4
7.05	27.34	281.6
11.05	84.89	325.60
12.05	85.61	298.80
14.05	51.08	224.0

Pornind de la aceste constatări, în urma expertizei energetice a clădirii și a instalațiilor aferente, s-au evidențiat următoarele deficiențe în funcționarea instalațiilor care au consecințe negative asupra consumului de energie și confortului termic:

- asigurarea regimului termic al camerelor de hotel prin funcționarea simultană a convectoarelor de fereastră și a ventiloconvectoarelor
- imposibilitatea reglării debitului de ventilare la CTA-uri; care funcționează la debitul maxim în regim “tot sau nimic”
- lipsa recuperării căldurii/frigului din aerul evacuat de la instalațiile de ventilare/climatizare
- lipsa încălzirii în zona perimetrală a restaurantului, disconfort accentuat și de protecția termică redusă a pereților exteriori
- regimuri de ventilare necorespunzătoare la bucătărie (depresiune foarte mare, chiar și în perioadele în care nu se gătește) și crămă (încălzire neuniformă, curenți de aer supărători)
- funcționarea cazanelor centralei termice la ecarturi mici de temperatură ale agentului termic; temperaturi de retur ridicate pe unele ramuri de încălzire și implicit debite de circulație mari
- capacitate insuficientă de preparare a apei calde și imposibilitatea asigurării vârfurilor de consum

4. Concluzii și propuneri

În baza expertizei energetice a clădirii se trag următoarele concluzii:

- Clădirea hotelului prezintă performanțe de izolare termică reduse, fapt ce conduce în prezent la consumuri mari de energie termică și electrică în funcționare. Acest lucru se datorează valorilor mici ale rezistențelor termice ale elementelor de construcție ale anvelopei, valori care nu respectă valorile normate, precum și existenței unei suprafețe vitrate mari.
- Coeficientul global de izolare termică a clădirii, care reprezintă fluxul termic specific disipat prin anvelopa clădirii, este mai mare decât valoarea normată.
- Referitor la instalațiile din hotel s-a constatat că deși instalațiile sunt conduse prin BMS nu este optimizată funcționarea acestora în corelare cu temperaturile

exterioare și cu gradul de ocupare al hotelului; încălzirea de bază (în regim de neocupare) se asigură cu consumuri energetice mari, debitele de ventilare nu sunt corelate cu gradul de ocupare, nu se recuperează energia din aerul evacuat.

Ca urmare a acestor concluzii, s-au făcut o serie de propuneri de soluții de îmbunătățire a performanței energetice a clădirii și de creștere a confortului utilizatorilor ,

grupate în 3 categorii: soluții pe partea de construcții, soluții pe partea de instalații și soluții pentru instalațiile din clădire pentru îmbunătățirea confortului termic.

4.1 Soluții pe partea de construcții

Pe baza expertizei energetice s-au propus următoarele soluții de îmbunătățire a izolației termice a clădirii:

- a) Eliminarea punților termice liniare de pe fațadele E și V prin refacerea detaliului constructiv și termoizolarea suplimentară a zonelor de intersecție a planșeelor de beton cu fațada - Soluția **S₁**
- b) Termoizolarea suplimentară a pereților din beton și caramida cu un strat de polistiren de 10 cm grosime, montat pe fața exterioară a pereților, protejat cu o tencuială subțire armată cu plasă din fibre de sticlă (termosistem) - Soluția **S₂**
- c) Refacere și termoizolare cu un strat de vată minerală de 25 cm grosime a acoperisului salilor de conferințe și piscinei - Soluția **S₃**
- d) Termoizolare suplimentară a acoperisului mansarda cu un strat de vată minerală de 15 cm grosime și a pereților de la mansardă cu un strat de polistiren de 10 cm grosime - Soluția **S₄**
- e) Termoizolarea intradosului planșeelor exterioare cu un strat de polistiren de 20 cm grosime, montat pe fața exterioară, protejat cu o tencuială subțire armată cu plasă din fibre de sticlă (termosistem) - Soluția **S₅**
- f) Termoizolarea planșeului dintre subsol și demisol cu un strat termoizolant din vată minerală de 10 cm grosime - Soluția **S₆**
- g) Înlocuirea tâmplăriei existente și montarea de geamuri termoizolante low-e, cu rezistența termică $R \geq 0,8 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ - Soluția **S_{1a}**

În urma aplicării soluțiilor de mai sus, rezistența termică corectată medie pe toată anvelopa clădirii, $\bar{R}$, crește de la $\bar{R} = 1,07 \text{ m}^2 \text{K/W}$ la $\bar{R} = 1,56 \text{ m}^2 \text{K/W}$. Totodată, se constată că este îndeplinit criteriul de performanță termooenergetică globală al clădirii în situația în care se aplică soluțiile de termoizolare propuse pentru anvelopă ($G_1 = 0,185 \text{ W/m}^3 \text{K} < G_{1 \text{ ref}} = 0,217 \text{ W/m}^3 \text{K}$).

4.2 Soluții pe partea de instalații

- a) Recuperarea căldurii din aerul evacuat la CTA-uri - Soluția **S₇**
Montarea recuperatoarelor de caldura in scopul utilizarii energiei din aerul recuperat pentru preincalzirea/prerăcirea aerului proaspat la nivelul centralelor de tratare a aerului.
- b) Funcționarea cu turație variabilă sau pe trepte de turație a ventilatoarelor - Soluția **S₈**

Scopul acestei măsuri este de a acționa asupra debitului de aer a ventilatoarelor în funcție de gradul de ocupare al încăperilor.

- c) Reglarea funcționării automate prin intermediul BMS-ului - Soluția **S₉**
Optimizarea funcționării instalațiilor comandate de BMS în funcție de soluțiile implementate și în strânsă corelare cu gradul de ocupare al hotelului, prevăzând:
- funcționarea independentă, la baza sarcinii de încălzire și asigurarea temperaturilor de gardă în încăperi (regim de neocupare) cu corpurile statice, convectoarele de fereastră din camere.
 - corectarea parametrilor regimurilor de funcționare ale centralei termice: mărirea ecartului de temperatură la cazane tur/retur la 20...25°C; temperatură variabilă a agentului termic pe tur funcție de temperatura exterioară; reducerea turației pompelor de circulație pe ramuri la creșterea temperaturilor de retur.
 - regim de temperatură adecvat pentru prepararea apei calde de consum
 - controlul și reglarea debitelor de aer de ventilare
 - reconsiderarea senzorilor de temperatură din sistemul BMS: cunoștere poziție, reamplasare corectă, setare parametri
- d) Corpuri de iluminat eficiente și controlul iluminatului în spații comune - Soluția **S₁₀**

4.3 Soluții pentru instalațiile din clădire pentru îmbunătățirea confortului termic

- a) Instalație de încălzire perimetrală la restaurant - Soluția **S₁₁**
b) Corectarea regimului de ventilare al bucătăriei - Soluția **S₁₂**
c) Îmbunătățirea sistemului de ventilare la crămă - Soluția **S₁₃**
d) Suplimentarea instalației de preparare a apei calde de consum - Soluția **S₁₄**
Pentru a face față consumului de apă caldă menajeră în perioadele de varf propunem suplimentarea boilerelor din centrala termică, cu 2 unități similare cu cele existente.

Soluțiile care vizează îmbunătățirea confortului termic și eliminarea unor deficiențe în funcționarea instalațiilor necesită o investiție suplimentară de cca. 20.000 Euro; ele nu contribuie la reducerea consumurilor energetice și nu au fost incluse în analiza economică.

4.4 Rezultatele analizei economice a măsurilor de creștere a eficienței energetice

Pentru fiecare dintre soluțiile propuse s-au determinat costurile de investiție și economiile de energie aferente, transpuse în economii ale cheltuielilor de exploatare. Indicatorul economic folosit pentru analiză este “durata de recuperare a investiției prin economiile realizate în exploatare” [ani], indicator care s-a determinat printr-un calcul dinamic pentru o durată de 15 ani.

În Tabelul 7 sunt cuprinși indicatorii de eficiență economică și energetică preconizați a se obține în urma aplicării soluțiilor de reabilitare și modernizare

energetică a clădirii și instalațiilor termice aferente, soluții grupate în 3 pachete: PS1 – cuprinde soluțiile pentru anvelopă, PS2 – cuprinde soluțiile pentru instalații și PS3 cuprinde ambele pachete anterioare.

Tabelul 7

Sinteza energetică și economică

Soluții tehnice / pachete de modernizare energetică	Reducere factura energetică	Costul investiției	Durata de recuperare a investiției
	%	Euro *)	ani
$PS1 = S_1 + S_{1a} + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6$	28,8	277.000	6,6
$PS2 = S_7 + S_8 + S_9 + S_{10}$	12,2	58.600	3,6
$PS3 = PS1 + PS2$	41,0	335.600	5,8

*) Prețurile nu conțin TVA

Se constată că măsurile de creștere a eficienței energetice a instalațiilor (PS2) au durată de recuperare a investiției cea mai redusă, sub 4 ani, necesitând un efort de investiție moderat. Măsurile de îmbunătățire a protecției termice a anvelopei clădirii (PS1) au contribuția cea mai însemnată la reducerea consumurilor energetice ale clădirii, necesitând însă costuri de investiție mari.

Pe ansamblul măsurilor, construcții și instalații (PS3), indicatorii economici obținuți sunt atractivi: durata de recuperare a investiției este sub 6 ani, iar reducerea consumului anual de energie este de cca. 40%.

5. Bibliografie

- [1] xxx “Metodologia de calcul al performanței energetice a clădirilor”, Monitorul Oficial al României nr. 126bis/21.02.2007
- [2] xxx “Metodologie privind determinările termografice în construcții, MP-037-04”, Monitorul Oficial al României nr. 405/06.05.2004
- [3] Dan Berbecaru, Irina Grigore, Ramona Axim, “Particularități ale calculului performanței energetice la clădirile publice”, volumul celei de a V^a Conferința Națională AAEC, București, 2011

Viitorul clădirilor verzi din perspectiva interconectării științelor*

The future of green buildings in terms of sciences interconnection

dr. arh. Adrian Moleavin¹

¹Universitatea de arhitectură și urbanism „Ion Mincu” București
str. Academiei nr. 18-20, 010014, Bucuresti, Romania
E-mail: adrianmoleavin@gmail.com

Rezumat. În contextul actual al încălzirii globale, mediul construit este supus unei transformări majore, cu accentul pus pe eficiența energetică. Prima parte a lucrării studiază comparativ trei generații de case din România, specifice unor diferite mentalități umane de relaționare cu mediul natural. Partea a doua realizează o paralelă între diferite moduri umane de „așezare” și relația construcție – mediu natural. Studiul evidențiază faptul că dezvoltarea durabilă nu este doar un răspuns la problema încălzirii globale, ci și o rezultată a unei relaționări om-natură tot mai sinergice, fapt deosebit de important pentru alegerea direcțiilor de dezvoltare ulterioare.

Cuvinte cheie: studiu comparativ, bioclimatic, pasiv, mentalitate, dezvoltare

Abstract. In the present context of global warming, the built environment is subject to a major transformation, with the focus on energy efficiency. The first part of the paper studies three generations of houses in Romania, specific to different human mentalities of relating to the environment. The second part makes links different human types of habitation with the construction – natural environment relation. The study shows that the sustainable development is not only the answer to the problem of global warming, but also to a more and more synergistic human-nature relation, very important fact in choosing future development directions.

Key words: comparative study, bioclimatic, passiv, mentality, development

1. Introducere

Societatea umană, în ansamblul ei, este un organism aflat mereu în evoluție și într-o perpetuă transformare. Dacă pe parcursul istoriei omul a fost mai mult sau mai puțin conștient de acest fapt, în prezent interdependența și interconectarea, atât în interiorul societății, cât și al umanului cu mediul său existențial, reprezintă deja un truism universal acceptat.

Universal acceptat este, de asemenea, și faptul că societatea umană traversează o perioadă de criză. Într-un studiu extrem de amănunțit, sociologul Pitirim Sorokin, întemeietorul Departamentului de sociologie de la universitatea Harvard, a evidențiat faptul că societățile umane evoluează oscilând între două extreme: una senzorială,

* Lucrare inclusă în programul conferinței "Romanian Conference on Energy Performance of Buildings (RCEPB 2013)"

respectiv materialistă, și una ideatică, respectiv spirituală, între acestea găsim o fază intermediară de exilibr, etapa idealistă. Vorbind despre viitorul apropiat al societății occidentale Sorokin afirmă: „Starea actuală a culturii și societății occidentale oferă spectrul tragic al începutului dezintegrării super-sistemului lor materialist. Prin urmare, viitorul lor imediat, măsurat în ani sau câteva decade chiar, va curge sub semnul lui dies irae (lb. lat. „ziua Măniei”), dies illo (lb. lat. „ziua aceea”) a tranziției către o nouă fază ideatică sau idealistă, cu toate elementele colaterale acestui proces.”[1]

În acest context, lucrarea realizează o analiză succintă a domeniului construcțiilor, analizând evoluția acestuia în relație cu aprofundarea gândirii și cunoașterii științifice, și caută să sintetizeze posibile dezvoltări ulterioare privind aplicarea, în domeniul instalațiilor, a celor mai noi cercetări inter și trans disciplinare, care să conducă la transformarea mediului construit în sensul creșterii calității vieții.

2. Trei generații de case din România

Demersul nostru se deschide cu analiza a trei locuințe din România. Deși exemplele prezintă construcții edificate aproximativ simultan, pe parcursul ultimilor 5 ani, ele reprezintă trei tipuri de mentalități diferite, trei etape ale unui proces de reconectare a omului cu natura. Acest proces are atât cauze obiective, respectiv criza ecologică actuală, cât și subiective, respectiv modificarea viziunii noastre științifice despre univers și implicațiile noilor paradigme asupra tiparelor noastre de viață și locuire.

Ca urmare a fenomenului globalizării și a duratei lungi de existență a unei construcții, aproape în întreaga lume, mediul construit actual reprezintă o combinație eclectică de clădiri moderne și postmoderne, puternic influențate de cunoștințele științifice specifice fiecărei perioade, la care se adaugă stilurile anterioare, ce nu vor fi analizate în cadrul punctului 3 deoarece preced apariția științelor exacte. România nu face excepție de la această „regulă”, cu mențiunea că există un caracter local influențat de condițiile istorice.

Putem spune că arhitectura ce caracterizează România în prezent este una ce continuă tradiția modernistă, deși principiile arhitecturale ale acestuia s-au pierdut în confuzia și condiționările impuse de investițiile economice și de noile materiale și tehnici de construcție.



Fig. 1 – Locuință unifamilială România

(sursa : <http://www.pozecase.com/images/wmwallpapers/casa--1.jpeg>)

Exemplul de mai sus ilustrează situația aproape universală a construcțiilor noi din țara noastră. Atenția este îndreptată către materialul și tehnica de construcție și eventual către materialele de finisaj, în timp ce calitatea spațiului arhitectural este trecută în secundar. Structura este „clasică”, respectiv pereți portanți din cărămidă, stâlpi și grinzi din beton armat incluși în pereți sau structuri mizte din beton și cărămidă. Termoizolația casei este aproape inexistentă, iar instalațiile asigură doar condițiile minime necesare.

Astfel de construcții sunt complet indiferente față de locul în care edificate. Ele nu acordă atenție contextului construit, orientării cardinale sau condițiilor bioclimatice. Conformate unei gândiri strict materialiste, aceste construcții și arhitecturi constituie un simplu adăpost, oricât de elegant, ce are calitatea negativă de a-și separa utilizatorii de orice element exterior anvelopantei, de a-i proteja prin disociere de complexitatea lumii exterioare.

Totuși, odată cu deschiderea României către exterior, în special cel vestic, populația devenit tot mai conștientă atât de binefacerile cât și de tarele societății occidentale de consum. Problemele ecologice, lipsa tot mai accentuată a resurselor, creșterea constantă a prețului energiei sunt probleme din ce în ce mai prezente în centrul societății din România și din ce în ce mai mult în cadrul preocupărilor arhitecților.

Un prim răspuns posibil, ce satisface parțial cerințele durabilității, îl reprezintă arhitectura bioclimatică. Aplicarea principiilor bioclimatice urmăresc îndeplinirea cerințelor de confort ale ocupanților simultan cu reducerea cantității de energie utilizată în perioada de exploatare a construcției prin utilizarea pasivă a energiilor naturale regenerabile, solare și eoliene, și prin protecția față de factorii de mediu ce pot crea disconfort.

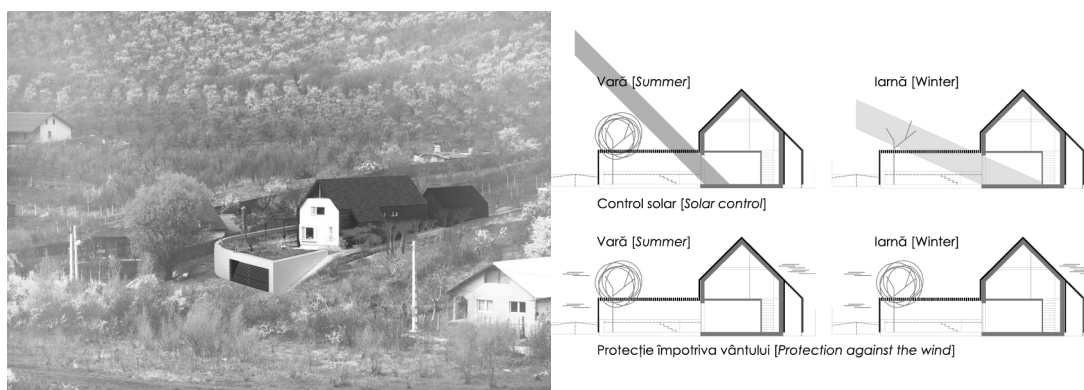


Fig. 2,3 – Locuință bioclimatică, sat Vișani, jud. Iași, arhitect Adrian Moleavin
(sursă : Arhiva personală a autorului)

Arhitectura bioclimatică, ilustrată în figurile 2 și 3, este inerent adaptată sitului și condițiilor bioclimatice locale. În plus, ea are calitatea de a combina experiența arhitecturii vernaculare tradiționale și cunoștințele avansate ale prezentului, în vederea scăderii consumului de energie în exploatare, fără a adăuga costuri suplimentare investiției inițiale. Totuși, arhitectura bioclimatică nu răspunde tuturor interacțiunilor posibile dintre construcție și mediul natural și nu este o soluție viabilă d.p.d.v. al

exigențelor ecologice ale prezentului, cu accentul îndreptat către economia de resurse, eficiența energetică și reciclarea materialelor de construcție.

Al treilea exemplu este cel al caselor pasive care, încă timid dar puternic susținute de legislația europeană, își fac apariția în România. Standardul casei pasive este puternic orientat către reducerea drastică a consumurilor de energie. Proiectarea unei case pasive include în primul rând respectarea perceptorilor unei proiectări bioclimatice, dar include și respectarea unor standarde energetice drastice, fapt ce conduce la necesitatea unei izolații termice foarte bune, etanșeizarea casei împotriva pierderilor de aer și necesitatea unui sistem de ventilație performant, cu preîncălzirea sau prerăcirea aerului și recuperator de căldură cu eficiență de peste 90%.



Fig. 4 – Casa pasiva din incinta UPB, arhitect - colectiv UAUIM
(sursă : arhiva personală a autorului)

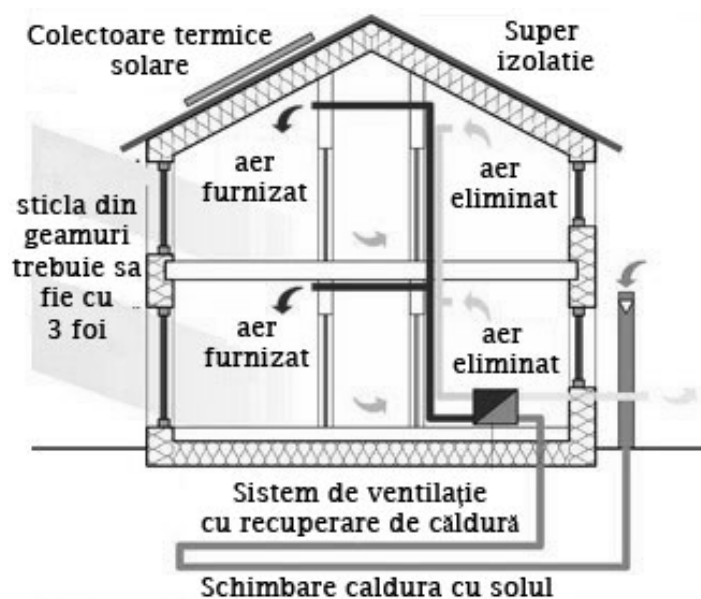


Fig. 5 – Schema de funcționare a unei case pasive.
(sursă : <http://www.casa-pasiva.eu/casa-pasiva.jpg>)

Figurile 4 ilustrează o casă pasivă pilot, construită în incinta Universității Politehnice București, iar în figura 5 putem analiza schema de principiu a unei case pasive, în care putem observa cu ușurință importanța care este acordată sistemului de instalații.

Putem să observăm cu ușurință faptul că, pe măsură ce societatea acordă o importanță crescândă protecției mediului și stabilirii unei conexiuni sustenabile cu acesta, atenția este îndreptată din ce în ce mai mult către procesele ce au loc în interiorul construcției și între aceasta și mediul exterior. Asemenea unui organism natural ideal adaptat mediului său de viață, clădirea devine un tot unitar, integrat organic locului și mediului său înconjurător.

Dacă o „casă pasivă” sau „zero energie” răspunde problemei eficienței energetice în exploatare, din punct de vedere ecologic rămâne de rezolvat problema energiei înglobate în materialele de construcție și cea a reciclării materialelor după încheierea perioadei de viață a construcțiilor. Aceste aspect se subsumează directivelor sustenabilității

3. Scurt periplu istoric

Am afirmat faptul că procesul de reconectare om-mediul are atât cauze obiective cât și subiective. Dacă la punctul 2 am adus în discuție cauzele obiective, respectiv modul de evoluție al mediului construit generat de efectele crizei ecologice, punctul 3 discută despre cauzele subiective, generate de evoluția științifică și influența acestora asupra tiparelor de locuire.

După cum am afirmat în introducere, societatea umană constituie un întreg interconectat. Există, prin urmare, o strânsă legătură între mentalitățile existențiale, tiparele de viață, muncă și recreere și modurile de a concepe arhitectura spațiilor destinate activităților umane. În același timp, mentalitățile existențiale reprezintă o manifestare directă a cosmologiilor științifice, respectiv a diferitelor viziuni științifice asupra universului nostru înconjurător.

Într-un studiu publicat pe site-ul propriu, arhitectul și profesorul american John Lobell aduce o serie de argumente în sprijinul acestei corelații dintre specificul arhitectural și momentul edificării, respectiv faptul că arhitectura este construită cu materialele și tehnicile de construcție specifice momentului edificării, este construită în contextul social și cultural al momentului edificării și este expresie a conștiinței și mentalităților umane caracteristice momentului edificării [2].

Odată cu apariția științelor exacte, societatea umană și-a dezvoltat o puternică orientare materialistă (senzorială). Casa Farnsworth, creație a arhitectului Mies van der Rohe, exponent al stilului modernist, prin exacerbarea exprimării structurii și a materialului, prin eliberarea completă de ornament, exprimă în mod direct viziunea Newtoniană, mecanicist-materialistă, asupra universului.



Fig. 6 - Farnsworth House, arhitect Mies van der Rohe
(sursă : http://en.wikipedia.org/wiki/Farnsworth_House)

Însă, la începutul secolului 20, paradigma materialistă a fost înlocuită de cea relativă, iar noile concepte implicate au pătruns în sânul societății. Schimbarea mentalităților a influențat puternic domeniul arhitecturii, conducând la apariția unui nou stil ce a fost denumit post-modernism. Dacă modernismul era orientat asupra studiului materialului de construcție, postmodernismul studiază cu precădere forma și semnificația spațiului. Un exemplu elocvent pentru arhitectura postmodernistă este muzeul Guggenheim, conceput de către arhitectul american Frank O. Gehry – putem să observăm, față de exemplul anterior, faptul că spațiul interior și exterior capătă forme fluide, nu mai este restrâns în mod implicit de limitele structurii.



Fig. 7,8 – Muzeul Guggenheim, Bilbao, Spania, arhitect Frank Gehry
(sursă : http://www.interiordesign.net/article/475078-Outside_The_White_Box.php)

Exemplele de mai sus, ilustrare a relației dintre viziunea științifică asupra universului și modurile de a concepe arhitectura, ne arată faptul că semnificațiile cu care este investită arhitectura evoluează odată cu modificarea concepțiilor noastre despre univers și implicit despre propria noastră existență. Momentul prezent este, din nou, unul al tranziției, între paradigmele relativiste și cele cuantice, ce anunță formarea unui nou set de mentalități și tipare de viață, ale căror muguri sunt deja prezenți în societate.

Ceea ce este important de reținut este faptul că aceste influențe și determinări nu se referă doar la arhitectura clădirilor, ci și la componentele lor constructive, inclusiv structurale și de instalații, aspecte pe care le vom ilustra în continuare.

4. Tendințe actuale

Dacă celebrul Albert Einstein afirma faptul că soluția unei probleme nu poate fi găsită cu ajutorul aceleiași linii de gândire care a generat-o, atunci soluțiile crizelor actuale nu trebuie căutate în exemplele istorice ci în noua cunoaștere științifică, cea care a generat știința complexității și prefigurează trecerea de la societatea informației la societatea cunoașterii. Trăsătura principală a acestei dezvoltări o reprezintă cunoașterea generată de multi, între și transdisciplinaritate. Un exemplu al unor astfel de cercetări îl reprezintă programul de cercetare “Gaia – Planeta vie - viziune inter și transdisciplinară asupra planetei Pământ, din perspectiva unei abordări neliniare a fenomenelor/proceselor și a evaluării, la scară globală, a interacțiunilor Viu-Neviu; implicații în dezvoltarea durabilă și în structurarea societății”[3]. Nu am amintit întâmplător de acest program de cercetare, deoarece astfel de interogări științifice pot rescrie definiția actuală a conceptului de “calitate a vieții”, cu implicații multiple în domeniul arhitecturii și construcțiilor.

După cum am arătat la pct.3, evoluția științifică, nu doar prin noile tehnici de construcție sau noi materiale ci și prin tiparele conceptuale, determină modurile în care concepem arhitectura și cum o edificăm. De exemplu, dacă analizăm evoluția sistemelor structurale de-a lungul istoriei vom constata că, odată cu evoluția cunoștințelor științifice, structurile au devenit pe de o parte din ce în ce mai eficiente d.p.d.v. al materialului de construcție, iar pe de altă parte liniile de demarcație între arhitectură și structură au devenit din ce în ce mai efemere, clădirea câștigând tot mai mult în complexitate. Deși componenta de instalații a clădirilor a apărut, raportat la istoria constructivă umană, relativ recent, este evident supusă aceluiași fenomen. Mai ales odată cu dezvoltarea unei gândiri complexe ce percepe clădirea asemenea unui organism în raport cu mediul său de existență și cu cercetările în domeniul durabilității mediului construit, se poate observa o suprapunere din ce în ce mai mare, până la identitate, între toate elementele materiale și imateriale/conceptuale ale clădirilor. Cel mai simplu exemplu în acest sens îl reprezintă “proiectarea integrată”, conceptul de “casa pasivă” fiind o exemplificare în acest sens.

Dar gândirea umană creatoare poate duce lucrurile mult mai departe. Un exemplu în acest sens îl reprezintă Pavilionul Spaniei pentru expoziția Zaragoza 2008, proiectat de către Mangado & Asociados.S.L.. Acest pavilion a primit Premiul

internațional pentru arhitectură sustenabilă 2009, deoarece construcția este perfect adaptată mediului înconjurător. Interesant d.p.d.v. al instalațiilor este sistemul de răcire și ventilare prin evaporare a apei prin care se creează un microclimat local al clădirii și care implică atât arhitectura cât și structura clădirii – aerul cu vapori de apă este ghidat prin interiorul elementelor structurale, proces ce crează un efect de răcire locală a aerului.

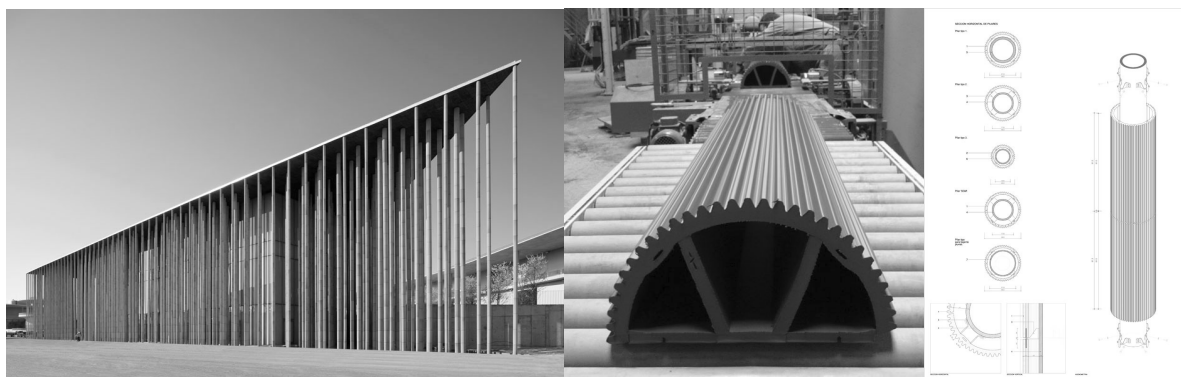


Fig. 9,10,11 - Pavilionul Spaniei pentru expoziția Zaragoza 2008, arhitectură - Mangado & Asociados.S.L.

(sursa: http://www.premioarchitettura.it/EN/Home/commons/pdf%202009/Realizzati/Mangado_.pdf)

Pasul ulterior îl reprezintă renunțarea la complexitatea realizată din funcționarea armonioasă a unui număr mare de componente și trecerea la realizarea de sisteme multifuncționale și adaptative. Astfel de posibilități ne sunt propuse, de exemplu, de materialele concepute de arhitecta Neri Oxman și realizate cu ajutorul printării 3D în cadrul MIT Media Lab din Statele Unite ale Americii.

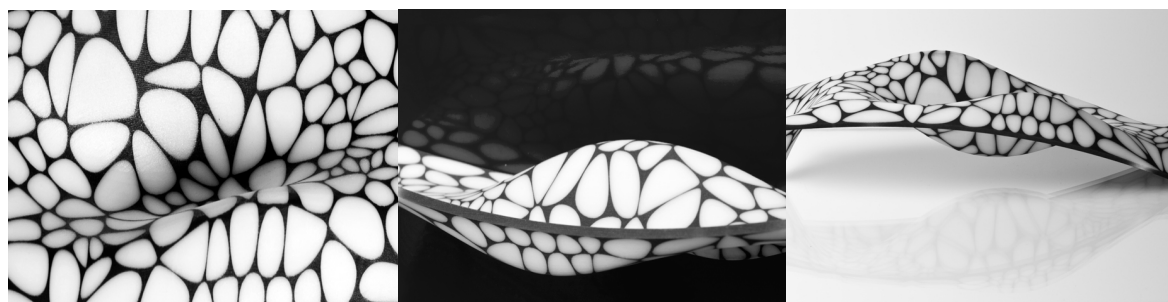


Fig. 12,13,14 – Monocoque 1

(sursa: <http://web.media.mit.edu/~neri/site/projects/monocoque1/monocoque1.html>)

Monococa 1 este un astfel de material ce poate oferi o alternativă construcțiilor clasice. În afară de a avea o structură și o anvelopă, se propune un singur material ale cărui proprietăți variază astfel: partea mai închisă este rigidă și oferă susținerea structurală, în timp ce zonele mai deschise reprezintă “închiderile” permeabile la lumină și schimb de căldură. Cu ajutorul procesului de printare 3D proprietățile materialului se pot schimba pentru a se adapta diferitelor zone seismice sau condiții bioclimatice[4]. De

aici și până la incorporarea instalațiilor nu mai este decât un pas, deja studiat în cazul printării 3D cu beton, respectiv a cercetărilor privind printarea 3D de clădiri întregi[5].



Fig. 15 – Element de construcție complex din beton armat printat 3D / arhitectură-structură-instalații
(sursa : <http://www.3d-printers.com.au/2010/11/17/concrete-3d-printer/>)

5. Concluzii

Una dintre premisele lucrării de față a fost faptul că societatea umană traversează o perioadă de criză, în principal de natură ontologică, dar care afectează toate compartimentele societății. Dar, dacă la început termenul de „criză” era utilizat cu conotații sumbre, în prezent înțelegerea termenului s-a transmutat în „transformare/transfigurare” ca urmare a unui proces generat de apropierea, în sânul societății, a unui nou set de concepții științifice ce compun viziunea cuantică asupra universului și prin care societatea umană se re poziționează în relație cu mediul său de viață, redefinindu-și încet tiparele de viață, de producție sau de consum. „Suntem la începutul unei revoluții care ne va da controlul, controlul perfect, asupra lumii noastre materiale. ... Viziunea noastră cea mai profundă asupra lumii atomice vine din teoria cuantică. Dar teoria cuantică ne oferă mai mult decât abilitatea de a manipula atomi individuali, ea fundamentează întreaga arhitectură a secolului 20. Minunile științei precum internetul, laserele, sateliții de telecomunicații, radioul, televiziunea, microundele, chiar și structura moleculei de ADN și biotehnologia, toate acestea, în ultimă instanță, provin din teoria cuantică.”[6].

Dacă, pe de o parte, criza ecologică actuală a contribuit la conștientizarea necesității re-creerii unei relații organice între om și natură și între mediul construit și mediul natural, dezvoltarea științelor actuale, în spiritul complexității și al interconectării, face posibilă respectarea cerințelor unei dezvoltări viitoare sustenabile.

În domeniul arhitecturii, al structurilor și al instalațiilor, cele mai importante surse de inovație și dezvoltare ale prezentului se găsesc în principiile complexității, respectiv în interconectarea cu alte științe. Pentru domeniul instalațiilor putem să cităm aici bionica și biomimetismul, ce privesc utilizarea sistemelor sau proceselor naturale

în cadrul structurilor artificiale, precum și generarea de noi sisteme sau procese pe baza celor naturale, sau cercetările exploratorii întreprinse de Emoto Masaru asupra calităților apei și a modurilor în care putem manipula apa astfel încât aceste calități să se păstreze. O serie de alte tehnologii ce provin din cercetări de avangardă, odată confirmate, pot deveni integrate sistemelor de instalații ale construcțiilor. De exemplu, pe site-ul <http://www.bth.ro/tehnologii/002.htm> putem să găsim o serie de tehnologii și instalații create de inventatori români ce privesc tratarea și obținerea unei ape de calitate superioară.

Prin integrarea unor cunoștințe multidisciplinare și prin disiparea limitelor clasice dintre arhitectura, structura, instalațiile și celelalte componente constructive ale unei clădiri, sistemele de instalații pot deveni mai complexe, ecologice și integrate arhitecturii și proceselor specifice ecosistemului local, atât prin valențele cantitative, dar mai ales calitative ale acestora. Astfel, ele pot și trebuie să contribuie la afirmarea mediului construit ca parte integrantă a mediului natural, prin susținerea unor schimburi și conexiuni organice sustenabile.

Referințe

- [1] *P. Sorokin*, „Social and Cultural Dynamics: A Study of Change in Major Systems of Art, Truth, Ethics, Law and Social Relationships”, editura American Book Company, New York, vol 4, pag. 775
- [2] *J. Lobell*, Quantum Theoretical Issues in Architecture: It's A Lot Stranger Than We Think, [sursa: <http://johnlobell.com/publications/QuantumArch.htm>]
- [3] *Colectiv Academia Română, Secția V – Științe Geonomice*, Program de activitate pe anul 2010, [sursa: http://www.aos.ro/site_mod/PLAN%20GEONOMICE%202010.pdf]
- [4] *N. Oxman*, descriere material Monocoque 1 [vezi: <http://web.media.mit.edu/~neri/site/projects/monocoque1/monocoque1.html>]
- [5] *Innovative Manufacturing and Construction Research Center*, Concrete Printing: An Innovative Construction Process [sursa : <http://www.youtube.com/watch?v=EfbhdZKPHro>]
- [6] *K. Michio*, „Visions of the Future – The Quantum Revolution”, documentar BBC, 2007, [sursa: <http://www.youtube.com/watch?v=InoMBWnTXpg>]

Studiu privind cerințele unui sistem de managementul calității în domeniul construcțiilor*

Study on the requirements of a quality management system in construction

Lidia Niculiță, Matache Georgiana

Technical University of Civil Engineering, Bucharest

Bd-ul Pache Protopopescu, 66, Bucharest, Sector 2, Postal Code 73232, Romania

niculita@gmail.com, <http://www.utcb.ro>

Rezumat: *Prezentul studiu privind implementarea unui sistem de management al calității la nivelul unei societăți comerciale din domeniul construcțiilor prezintă argumentele și cerințele pentru aplicarea cu succes a unui asemenea sistem de management ținând cont de particularitățile și specificitățile activităților din domeniul construcțiilor. După prezentarea particularităților proceselor și tehnologiilor din domeniul construcțiilor și a elementelor de bază privind asigurarea calității în construcții prin control și verificare sunt analizate și sintetizate cerințele necesare implementării cu succes a unui sistem de management al calității în construcții.*

Bazat pe rezultatele obținute de firme de construcții de succes, pe informații din literatura de specialitate precum și pe experiența profesională în domeniu, în finalul articolului, sunt prezentate o serie de concluzii care pot constitui adevărate reguli care conduc la succesul pe piață a unei firme de construcții dacă managerii și angajații acesteia respectă și cred în efectele favorabile ale acestora asupra succesului și dezvoltării firmei.

Cuvinte cheie: controlul calității, asigurarea calității, managementul calității, analiza riscului

Abstract: *This study on the implementation of a quality management system in the construction of a company of the arguments and the requirements for successful implementation of such a management system taking into account the particularities and specificities of construction activity. After presenting features of processes and technologies in the construction and the basic elements of quality assurance in construction by monitoring and verification requirements are analyzed and summarized the successful implementation of a quality management system in construction.*

Based on the results of successful construction companies on information from the literature and professional experience in the field, at the end of the FAQ article are presented some conclusions that may be true rules that lead to market success of firms construction if managers and employees respect and believe in their positive effects on the success and development company.

Keywords: quality control, quality assurance, quality management, risk analysis

* Lucrare inclusă în programul conferinței "Romanian Conference on Energy Performance of Buildings (RCEPB 2013)"

1. Introducere

Experiența unor firme de succes din țări dezvoltate economic a demonstrat faptul că știința și practica managementului calității au condus, în ultimele decenii, la dinamici accentuate de dezvoltare și progres tehnologic și economic.

Concurența de pe piețele interne și internaționale, procesul de globalizare, exigențele și cerințele privind protecția și conservarea mediului necesită acordarea unei atenții sporite sistemelor de asigurare a calității și a celor de management al calității, în orice organizație, indiferent de domeniul ei de activitate.

Domeniul larg și complex al construcțiilor nu face excepție privind aceste cerințe.

În domeniul ingineriei construcțiilor, calitatea este elementul principal care diferențiază construcțiile ale căror caracteristici sunt conforme cu cerințele impuse și cu solicitările și așteptările clienților.

Caracteristicile unei construcții pot fi clasificate în trei mari grupe: caracteristici de execuție, caracteristici de utilizare și caracteristici ecologice.

Caracteristicile de execuție sunt caracteristici generate în procesul de realizare a construcției. Deși acestea nu definesc construcția propriu-zisă, ele au o mare influență asupra acesteia și deci asupra calității.

Caracteristicile de utilizare sunt acele caracteristici care se referă la comportarea construcției pe toată perioada de exploatare a acesteia. În această categorie de caracteristici se înscriu: *fiabilitatea, mentenabilitatea, conservabilitatea, durabilitatea, accesibilitatea și disponibilitatea*. Aceste caracteristici au valori care se apreciază din momentul recepției construcției de către beneficiari. Ele sunt determinate prin studii statistice sau/și prin încercări sau experimentări.

Caracteristicile ecologice sunt acea grupă de caracteristici care cuprind *integritatea ecologică, gradul de reutilizare, costul pe ciclul de viață, consumul energetic și consumul de materiale*.

În domeniul construcțiilor calitatea este importantă pentru fiecare etapă a realizării acestora, de la stabilirea furnizorilor, achiziționarea de materii prime și materiale, transportul, montajul și întreținerea acestora, pentru că fiecare din etapele menționate măresc durabilitatea și durata de funcționare a unei structuri.

Realizarea într-un interval de timp mic a unui volum mare de lucrări de complexitate tehnică sporită și cu eficiență economică maximă necesită implicarea unui număr mare de specialiști (proiectanți, executanți, furnizori) și impune necesitatea unui control eficient al calității lucrărilor în toate fazele de construcție, de la conceperea și până la recepția finală a construcției.

2. Particularități ale proceselor și tehnologiilor de execuție în domeniul construcțiilor în raport cu alte domenii industriale

Tehnologia de realizare a unei construcții reprezintă o succesiune ordonată și condiționată de faze și etape derulate în timp și în spațiu, prin utilizarea de materiale de construcție, semifabricate și diverse alte componente, utilaje, dispozitive, echipamente și mașini în conformitate cu prevederile din documentația tehnică de construire, cu scopul de a realiza construcția propusă și de a asigura caracteristicile

funcționale, fiabilitatea și mentenabilitatea, caracteristicile calității și siguranței și rezultate din cerințele proiectului de execuție.

La baza fiecărei faze sau etape de realizare a construcției stau procese mecanice, fizice, chimice, fizico-chimice ș.a.

Procesul tehnologic propriu-zis de construire cuprinde acele faze și etape care se derulează și se execută în interiorul perimetrului șantierului de construcție deși la realizarea unei construcții există și o serie de procese și faze care se produc în afara ariei șantierului.

Prin comparație cu tehnologiile din alte domenii de producție, tehnologiile din domeniul construcțiilor au o serie de caracteristici comune dar în același timp și o serie de caracteristici specifice acestea din urmă diferențiindu-le net de celelalte (vezi fig. 1). Astfel, în raport cu tehnologiile de fabricare a multor produse din diverse domenii și care presupun un flux de producție și o repetare a procesului tehnologic pentru fiecare produs în parte, în cazul tehnologiilor de construire nu există caracterul repetitiv, fiecare construcție fiind un produs unicat. Această caracteristică precum și faptul că produsul fiind - construcția are o poziție fixă atât pe durata executării cât și pe întreaga durată de viață, constituie cele două elemente distincte care diferențiază tehnologia de realizare a unei construcții față de marea majoritate a celorlalte tehnologii de fabricare a produselor. Caracterul de unicat al construcției și însușirea acesteia de a fi în poziție fixă definitivă determină o serie de caracteristici, cerințe și servituți care se regăsesc în orice tehnologie de execuție a unei construcții și anume:

- materialele de construcție, semifabricatele și celelalte componente afluesc din diverse locuri de depozitare către construcția aflată în execuție iar resursele umane, utilajele, echipamentele și mașinile necesare se deplasează la locul de lucru, schimbându-și locația după finalizarea fazei respective;

- deoarece marea majoritate a lucrărilor de execuție a construcțiilor se desfășoară în aer liber, efectuarea acestora este influențată de factorii locali ai mediului înconjurător, adică temperatura aerului, umiditatea aerului, viteza vântului, intensitatea de radiație, precipitațiile, nivelul de poluare a aerului, nivelul de zgomot ș.a., factori care acționează atât asupra muncitorilor executanți cât și asupra utilajelor, echipamentelor, materialelor utilizate și proceselor din faza de execuție respectivă;

- nivelul ridicat al volumului, masei și gabaritelor materialelor, semifabricatelor și ale altor componente utilizate la execuția lucrărilor fapt care conduce la un volum mare de transport și manipulări;

- numărul mare de faze și procese de execuție, intercondiționate, din care rezultă un volum mare de muncă și durate mari de execuție până la finalizarea construcției;

- diversitatea mare de soluții tehnice aplicabile ceea ce conduce la o relativa mare diversitate a tehnicilor și proceselor utilizate la execuția unui aceluiași tip de construcție și accentuează caracterul de unicat al unei construcții oarecare.

În condițiile acestor particularități ale tehnologiei de execuție a construcțiilor există și au fost dezvoltate diverse sisteme de control ale calității.

Conceptul de control al calității este un concept utilizat în ultimele secole de existență a producției materiale dar diferența majoră dintre relevanța și semnificația acestuia

acum 30 - 40 de ani și cel actual, în toate domeniile de activitate, inclusiv în cel al construcțiilor de orice fel, este aceea că în prezent aplicarea acestuia trebuie să fie riguros argumentat științific și tehnic.

3. Asigurarea calității în construcții prin control și verificare

Asigurarea calității unei construcții poate fi realizată numai cu implicarea și preocuparea pentru calitate a tuturor factorilor care intervin pe întreg ciclul de realizare a acelei construcții începând cu beneficiarul solicitant al construcției și continuând cu proiectantul, executantul, alți factori și utilizatorul construcției așa cu rezultă din schema generală a etapelor și factorilor implicați prezentată în fig. 1.

De obicei, firmele de proiectare interacționează mai puțin cu antreprenorul general pe perioada realizare a proiectului, de multe ori chiar, acesta este desemnat după ce lucrările de proiectare sunt finalizate. În general, lipsa de colaborare între cele două părți implicate (proiectant și antreprenor general) își face simțite efectele negative imediat ce execuția începe, prin informații incomplete, tehnologii de construire și tehnici inaplicabile, evenimente ce conduc la o afectare directă a calității și performanței proiectului.

Datorită necesității asigurării calității ca o premiză a succesului, multe firme de execuție și de proiectare acordă o permanentă atenție problematicii calității implementând tehnici și proceduri pentru control și verificare prin care să se atingă un nivel calitativ cât mai ridicat.

Pentru asigurarea calității construcțiilor este strict necesar să se respecte o serie de norme și principii dintre care sunt de menționat:

- îmbunătățirea continuă a proceselor în toate etapele: concepție, proiectare, execuție și dare în exploatare, prin introducerea de noi tehnici și soluții constructive și prin respectarea tuturor normativelor în vigoare, lucru care constituie un principiu de baza pentru toți cei care profesează în acest domeniu;
- caracteristicile tehnice de baza și nivelul calitativ al produsului se stabilesc prin standarde, norme tehnice, caiete de sarcini și sunt obligatorii pentru toți participanții la proiect de la proiectant, executant și până la responsabilul cu întreținerea construcției.
- construcțiile trebuie să corespundă în totalitate scopului pentru care au fost realizate.

Controlul calității este unul dintre cele mai importante procese și permite asigurarea și verificarea construcției în toate etapele parcurse de la concepție la finalizarea și darea în exploatare.

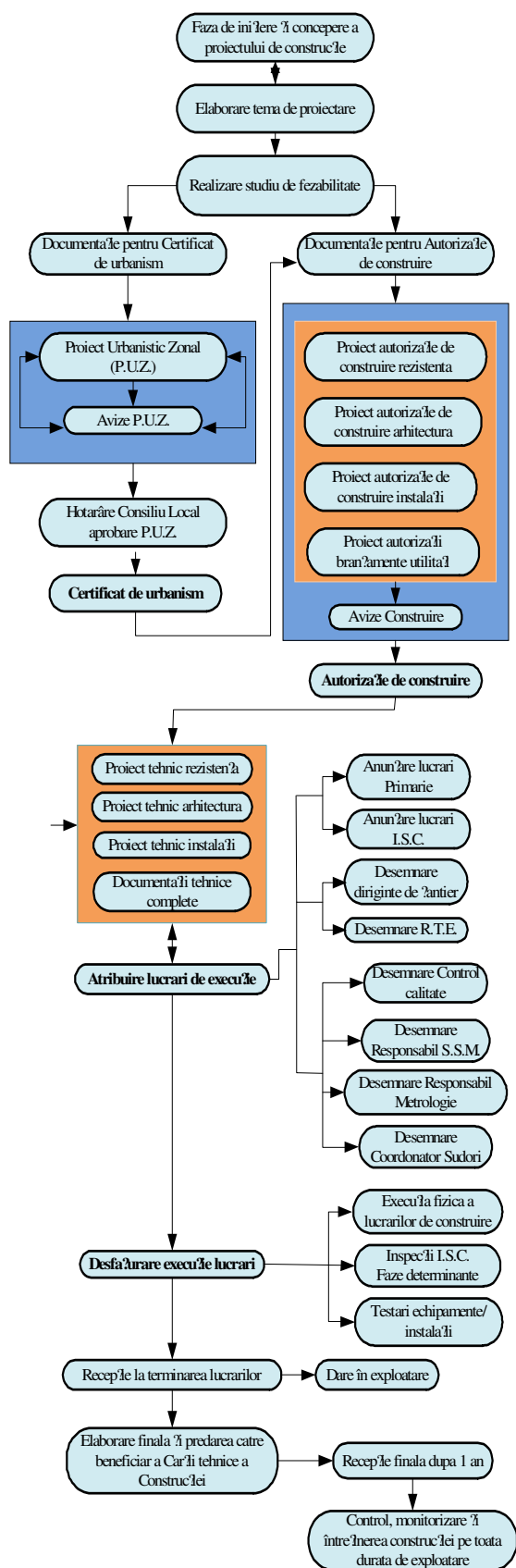


Fig. 1. Schema generală a etapelor și factorilor implicați în realizarea unei construcții

3.1. Organizarea proceselor de control al calității

Pentru aplicarea unui control adecvat și eficient trebuie să se implementeze sisteme de control capabile să transmită informațiile la timp și precis pentru a se putea lua măsurile adecvate în timp util. Pentru realizarea acestui deziderat este foarte important rolul fiecărui participant la proiect:

- *Beneficiarul* este cel care definește cerințele și obiectivele calității, stabilește un program prin care să organizeze controlul calității;

- *Proiectantul* stabilește metodele și mijloacele de control necesare pentru fiecare etapă de realizare a construcției conform prescripțiilor privind organizarea controlului calității;

- *Constructorii* organizează și asigură condițiile și mijloacele necesare pentru efectuarea controlului conform specificațiilor contractuale și prevederilor legale;

- *Controlul exterior* este efectuat de o persoană desemnată de beneficiar (diriginte) care examinează și confirmă modul în care se efectuează controlul în toate etapele de execuție (efectuat de către proiectant și executant).

Calitatea poate fi asigurată doar prin realizarea unui control organizat, procedurat și ordonat în toate etapele de realizare a construcției.

Controlul în timpul proiectării cuprinde următoarele aspecte:

- analiza concepției generale a controlului și stabilirea metodelor, mijloacelor și necesităților controlului

pentru fiecare etapă, până la finalizarea și recepția construcției;

- bazele de calcul folosite la calcul structural și relevanța lor;
- corespondența dintre cerințe impuse de client condițiile de execuție;
- gradul de definire care se exprimă prin măsura în care calculele acoperă complet necesitățile;
- evitarea neconcordanțelor între partea scrisă și partea desenată;
- încărcările și acțiunile luate în considerare la calculul structural;
- factorii de siguranță utilizați și conformitatea aplicabilității lor;
- nivelul de siguranță adoptat;
- modelele și metodele de proiectare adoptate.

Controlul preventiv constă în verificarea în timp util a documentației de execuție pentru a sesiza eventualele deficiențe sau neconformități, omisiuni, imprecizii, erori, control care ar putea preveni eventualele efecte negative survenite ulterior demarării proiectului dar și pentru clarificarea și corectarea tuturor erorilor de proiectare, de calcul sau tehnologice cuprinse în documentație.

Autocontrolul sau controlul propriu efectuat de către antreprenorul general constă în prelevarea de probe dintr-un element sau material pentru confirmarea caracteristicilor calității acestuia și extinderea concluziilor pentru întreg lotul de produse sau materiale. Ca și modalitate de control, autocontrolul reprezintă cea mai eficientă dintre metode realizând conștientizarea lucrătorilor asupra necesității realizării unor produse ale căror caracteristici ale calității trebuie să fie conforme cu cel din documentație.

Controlul (tehnologic) operativ se efectuează direct la locul de lucru de către șeful de echipă, maestru sau șeful de șantier și face parte din procesul de producție. Prin asigurarea calității lucrărilor de construcții se urmăresc, în special, două aspecte:

- calitatea materialelor, subansamblelor etc. care se apreciază prin verificarea certificatelor de conformitate primite odată cu livrarea produselor. Se urmărește respectarea condițiilor de fabricație prevăzute în standarde, norme și specificații;
- calitatea lucrărilor care se apreciază prin prelevări de probe sau încercări nedistructive asupra elementelor de construcție.

Controlul intermediar se efectuează pe parcursul derulării lucrărilor în diverse etape și are drept scop recepția unor lucrări care rămân ascunse prin înglobare sau prin acoperire și care pot periclita rezistența, stabilitatea, durabilitatea sau funcționalitatea construcției (izolații termice, hidroizolații, terasamente, infrastructuri, suprastructuri etc).

Controlul final se efectuează după finalizarea lucrărilor de construcție prin recepția provizorie a lucrărilor și apoi recepția finală după aproximativ 1 an. În urma recepției finale se stabilesc defectele lucrărilor, care se remediază pe cheltuiala constructorului. Fiecare din aceste etape se formalizează printr-un proces verbal de recepție.

Controlul în timpul exploatării construcției se efectuează după finalizarea și recepția finală a acesteia. Conform articolului nr. 25 din Legea nr. 10/1995, obligația de a asigura condițiile necesare efectuării activităților de urmărire a comportării în timp, inclusiv personalul de specialitate, revine proprietarului sau după caz celui care administrează construcția. Importanța etapei de urmărire a comportării în timp a

construcției în ansamblul sistemului calitatii este sugerată și de nivelurile sancțiunilor prevăzute de legile care reglementează acest lucru, comparativ cu alte fapte contravenționale din domeniul calitatii construcțiilor.

Un aspect important de remarcat este faptul că ”Ghidul privind executarea lucrărilor de întreținere și reparații la clădiri și construcții speciale - Indicativ GE 032-97, Ord. MLPAT nr.116/N/01.09.1997”, stabilește la punctul 1.2.9 că activitatea de urmărire a comportării în timp a construcțiilor se desfășoară pe toată ”durata de viață a construcției”, începând de la data demarării executiei lucrărilor. În acest caz, obligațiile urmăririi comportării stadiilor fizice până la edificarea construcției, revin executantului și proiectantului.

Urmărirea comportării construcției se face pe baza unui program stabilit de proiectantul construcției și trebuie să cuprindă în principal următoarele aspecte:

- documentația tehnică, care trebuie să conțină instrucțiuni tehnice ale proiectantului privind programele de urmărire curentă și specială a execuției lucrărilor;
- stabilirea elementelor care necesită o urmărire specială, descrierea proceselor ce urmează a fi monitorizate, modul de observare, metodele de măsurare și analiză;
- frecvența măsurărilor, modul de înregistrare și păstrare a datelor, modul de prelucrare și transmitere a datelor, caracteristicile care se urmăresc, documentația de interpretare a urmăririi, lista prescripțiilor de bază;
- aparatura și echipamentele necesare.

4. Analiza cerințelor necesare implementării unui sistem de managementul calității într-o societate comercială din domeniul construcțiilor

Succesul și dezvoltarea unei societăți comerciale din domeniul construcțiilor ca de altfel și din oricare alt domeniu de activitate, sunt în mod esențial determinate și generate de interesul managerilor față de problematica managementului calității având ca element central clientul cu solicitările, cerințele și așteptările sale.

Din consultarea literaturii de specialitate privind relația dintre aplicarea în firmă a unui sistem de management al calității și succesul pe piață al acestuia, indiferent că este vorba de piața concurențială locală, națională, europeană sau internațională [2, 3, 5, 6, 8 ș.a.] au rezultat douăsprezece aspecte esențiale, care reprezintă cerințe necesare implementării și funcționării cu succes a unui sistem de management al calității. În continuare, vor fi prezentate sintetic aceste adevărate reguli de succes pentru firmă.

4.1. Investiția în managementul calității la nivelul firmei

Succesul și dezvoltarea unor mari firme dar și a unor IMM-uri (întreprinderi mici și mijlocii) din multe țări dezvoltate din întreaga lume au demonstrat că este oportun și necesar să se investească în infrastructura și logistica managementului calității. Este de preferat ca investițiile în managementul calității să fie prioritare în raport cu investițiile în tehnologii, instalații, echipamente, utilaje, aparate de măsurare ș.a.

Rezultatele pozitive ale acestor investiții se obțin inclusiv pe termen scurt dar întreținerea și îmbunătățirea permanentă, inclusiv prin investiții, a sistemului de

management al calității asigură pe termen mediu și lung durabilitate succesului și profitului firmei.

4.2. Motivarea angajaților

Învățând din experiența fericită a firmelor din țările Extremului Orient (Japonia, Coreea, Singapore ș.a.) este productiv să se știe că obstacolele și problemele cotidiene care trebuie escaladate într-o unitate economică pentru a obține succes, sunt în primul rând cele de natură *umană* și nu cele legate de dotare, tehnologie, legislație, resurse financiare, conflicte cu sindicatele ș.a.

Trebuie să învățăm cum se *motivează* oamenii. Motivarea angajaților reprezintă un element important al *managementului calității*.

Neimplicarea totală a angajaților în ceea ce trebuie să facă în firmă și nerecunoașterea importanței asigurării calității activităților și produselor firmei este generată de incorecta corelare sau inexistența corelării între ceea *ce dă* și ceea *ce primește* fiecare angajat al unității.

Referindu-ne la situația din țara noastră se poate ne se poate accepta situația ca un salariat, indiferent cine este el, să fie plătit ca în capitalism, ca într-o țară dezvoltată economic, dacă acesta se comportă, gândește, muncește și are (in)eficiența ca și în socialism.

4.3. Asigurarea condițiilor necesare obținerii eficienței și calității

Asigurarea condițiilor necesare obținerii eficienței este un element esențial al managementului calității pentru ca un angajat să acceadă la un salariu rezonabil, similar cu al unui angajat omolog dintr-o țară dezvoltată, este necesar și ar trebui să fie și suficient, să existe o preocupare continuă, pragmatică pentru eficiență și pentru calitate.

4.4. Asigurarea condițiilor de corelare permanentă dintre muncă și retribuție

Această corelare dintre muncă și retribuție este un element fundamental al managementului calității calitatea muncii trebuie să constituie un criteriu real de retribuție astfel încât să existe salarii egale numai în condiții de muncă egale, atât cantitativ dar mai ales calitativ, așa cum există în toate țările dezvoltate și așa cum ar fi logic și productiv să fie.

Salariul fiecărui angajat trebuie să depindă într-o manieră logică, obiectivă și transparentă de aportul său concret cantitativ și calitativ, chiar dacă salariul este stabilit, într-o oarecare măsură, de șeful său direct, care însă ar trebui să dispună de un buget alocat și să stabilească salariul în funcție de realizarea de către angajat a unor obiective prestabilite.

4.5. Instruirea continuă și informarea permanentă a tuturor angajaților

Instruirea continuă și informarea permanentă reprezintă elemente ale managementului calității care pot asigura succesul nu există și nu poate exista succes durabil fără informare permanentă și formare continuă a tuturor angajaților. A nu face nimic sau aproape nimic pentru educarea, instruirea și perfecționarea salariaților este o mare

deficiență de management care se răsfrânge în mod direct, mai devreme sau mai târziu, asupra calității și în final asupra succesului (insuccesului) unității economice respective. Din bugetul de timp zilnic al fiecărui angajat ar trebui să se aloce procente importante, de exemplu 10.....20%, pentru instruire, perfecționare, documentare, informare.

4.6. Definirea corectă și clară a sarcinilor de serviciu

Definirea corectă și clară a sarcinilor de serviciu ajută la pregătirea eficientă a angajatului pentru îndeplinirea cantitativă dar mai ales calitativă a acestora contribuind la realizarea *calității* și fiind un *element tehnic important al managementului calității*. Este necesar și esențial ca angajații să participe în mod activ și direct la administrarea unității economice și la îmbunătățirea funcționării acesteia, astfel încât sarcinile de serviciu să le fie clare, corelate cu ansamblul activității, posibil de realizat, iar dispozițiile să nu fie redundante.

4.7. Aplicarea neîntreruptă, concretă și corectă a științei marketingului

Aplicarea concretă și corectă a științei marketingului contribuie la obținerea succesului și *reprezintă un element de bază al managementului calității* existența, funcționalitatea și eficiența compartimentului de *marketing* (Vânzări – desfacere) sunt vitale pentru orice unitate economică în condițiile concurențiale de piață. Condițiile necesare pentru succes ale compartimentului de marketing sunt:

- cunoașterea pieței în aspectele ei legate de concurență, produse și servicii similare sau identice cu cele proprii unității economice, prețuri și tarife, condiții de livrare, termene, clienți ș.a.;
- elaborarea și urmărirea realizării strategiei, politicii și obiectivelor proprii într-o manieră pragmatică și agresivă, pe segmentele de piață pe care acționează unitatea economică;
- cunoașterea și urmărirea clienților, atât cei existenți cât și cei potențiali și ale nevoile acestora, atât cele exprimate cât și cele posibile, în vederea satisfacerii exacte, reale și complete a lor și a depășirii așteptărilor clienților în scopul de a-i păstra și a-i transforma în clienți fideli;
- supravegherea atentă și continuă a concurenților, din toate punctele de vedere, inclusiv din punct de vedere al calității produselor și serviciilor prestate, al tehnologiilor, al utilajelor, al metodelor de menținere a pieței câștigate și al ofensivei spre câștigarea de noi clienți;
- participarea reală a conducerii compartimentului de marketing la adoptarea deciziilor unității economice în vederea evitării transformării acestui compartiment într-o simplă „roțiță mecanică” în angrenajul producție – desfacere – încasare.

4.8. Asigurarea calității activităților de aprovizionare

Calitatea activității de aprovizionare constituie un element important al managementului calității aportul important în asigurarea calității și în obținerea succesului pe piață al compartimentului Aprovizionare este asigurat dacă:

- managerii unității economice și salariații compartimentului Aprovizionare sunt conștienți de importanța și rolul acestuia în ansamblul activității unității;

- interesează calitatea furnizorilor și a prestatorilor de servicii din exteriorul unității;
- angajații compartimentului realizează importanța calității, prețurilor și termenelor de livrare ale materialelor și produselor achiziționate;
- există o strategie de aprovizionare, o politică de aprovizionare și un plan de aprovizionare pe termen mediu și lung astfel încât să se optimizeze stocurile de materii prime, materiale și semifabricate.

4.9. Asigurarea unei bune funcționări a compartimentului Producție

Asigurarea bunei funcționări a compartimentului Producție este elementul de bază al managementului calității într-o unitate economică producătoare compartimentul de Producție este cel mai important compartiment din cadrul unei unități economice de producție, aici realizându-se și valoarea adăugată a produsului. Succesul activității compartimentului de producție poate fi asigurat dacă:

- sarcinile sunt clar și concret repartizate salariaților, astfel încât fiecare știe ce și cum are de făcut;
- există un plan de producție clar, atât pe termene scurte (zi, săptămână, lună) dar și pe termene lungi (trimestru, semestru, an);
- se acordă prioritate elementului uman, adică angajatului, în raport cu tehnologia, echipamentele, utilajele, aparatele, materialele;
- există preocupare concretă și permanentă pentru îmbunătățirea și optimizarea fluxurilor de producție și a proceselor de fabricație;
- există implementat un sistem al calității în care prevederile ISO 9000 să fie minime;
- conducătorii de ateliere, servicii și colective sunt nu doar „șefi” care să sancționeze ci coordonatori faptici ai activităților de producție;
- fiecare salariat este instruit, cunoaște, poate și vrea să lucreze astfel încât să asigure calitate și productivitate în condiții prestabilite, asigurând și autocontrolul calității;
- sarcinile de lucru sunt clare pentru fiecare post de lucru, asigurându-se optimizarea activității;
- fiecare salariat are acces liber, direct și în timp real, la orice informație utilă procesului de producție și postului de lucru respectiv;
- se asigură optimum de stocuri de materii prime, materiale, prefabricate dar și de piese, subansamble și produse fabricate;
- există un sistem viabil și concret de întreținere preventivă a utilajelor, instalațiilor și echipamentelor de producție, asigurând fiabilitate și mentenanță ridicate ale acestora;
- există un sistem informațional bine pus la punct, care asigură comunicarea internă între salariați și șefi și între salariați, prin panouri informative, aviziere, tablouri de bord, buletine informative interne etc.;

- sunt cunoscuți beneficiarii produselor fabricate (clienți interni sau clienți externi) făcând astfel posibilă cunoașterea nevoilor acestora și atingerea calității necesare;
- salariații au inițiativă, își asumă responsabilități și riscuri, participă la buna funcționare și la ameliorarea funcționării echipei de lucru din care fac parte, asigurând astfel coeziunea acestora și coerența activității;
- este asigurată starea de igienă și ordinea în toate locurile de muncă inclusiv în spațiile anexă ale acestora cum ar fi vestiarele, toaletele, locurile amenajate pentru fumat ș.a..

4.10. Abilitatea de a comunica prin intermediul ședințelor

Arta de organiza, conduce și finaliza o ședință este o componentă de finețe a managementului calității una dintre cele mai importante căi de comunicare la nivelul unității economice sau al unui compartiment al acesteia este ședința.

Pentru ca eficiența unei ședințe să fie maximă este necesar ca:

- să fie planificată și organizată;
- să se vorbească puțin, concis și precis;
- să se asigure analiza operativă a rezultatelor, adoptarea în mod pragmatic de măsuri corective și de îmbunătățire a acțiunilor concrete;
- să dureze puțin iar participanții să plece de la ședință cu lucrurile și sarcinile clare.

4.11. Asigurarea calității managementului prin asigurarea calității managerului

Nu există management fără a exista manager iar calitatea managementului derivă în măsură de peste 70% din calitatea managerului [2, 5].

Managementul calității impune, din partea managerului care îl practică cu succes, îndeplinirea următoarelor cerințe minimale:

- să nu ignore ci dimpotrivă să creadă în *managementul calității* deoarece acesta asigură mai multă eficiență decât controlul de conformitatea al calității;
- să cunoască și să aplice corect principiile managementului specific economiei de piață puternic concurențiale;
- să aibă *voința de a învinge* și de a fi învingător și nu doar supraviețuitor;
- să organizeze unitatea economică astfel încât aceasta să fie adaptată specificului economiei de piață, în general și specificului activității proprii, în special;
- să aibă viziune pe termen lung și să aibă clare obiectivele care trebuie atinse;
- să nu ignore ci dimpotrivă să investigheze și să *cunoască mediul concurențial* și concurenții unității economice pe care o conduce;
- să fie activ, motivat și să fie un inamic declarat al automulțumirii;
- să aibă *încredere în subalterni, să îi cunoască, să le valorifice ideile valoroase, să asigure motivarea acestora și în primul rând motivarea materială.*

4.12. Cultivarea încrederii în efectele pozitive ale aplicării principiilor managementului calității

Daca toate cele unsprezece cerințe au fost respectate și totuși firma nu înregistrează încă succese de piață, atunci această situație este, în condiții economice normale, doar conjuncturală și de scurtă durată.

Încrederea în valențele favorabile ale aplicării unui sistem de managementul calității și acordarea unei atenții permanente celor unsprezece cerințe prezentate anterior asigură pe termen scurt dar mai ales pe termen mediu și lung garanția succesului, profitului și dezvoltării firmei care procedează astfel.

5. Concluzii

În urma studiului efectuat s-a pus în evidență importanța fundamentală a adoptării, implementării și îmbunătățirii permanente a unui sistem de management al calității la nivelul unei societăți comerciale din domeniul construcțiilor. De eficiența implementare a acestui sistem depind succesul și dezvoltarea firmei respective.

Sintetizând cele prezentate anterior, se pot formula ca și concluzii ale studiului, următoarele zece reguli de bază ale managementului calității, reguli care reprezintă premisele succesului pe piață ale unei firme din domeniul construcțiilor care activează în condiții concurențiale [8]:

- a) investiții, cu prioritate în managementul calității;
- b) motivarea reală a angajaților – retribuții egale la muncă de calitate egală;
- c) managerul la vârf să creadă în managementul calității totale;
- d) instruire și informare continuă;
- e) preocupare permanentă, reală pentru calitate totală;
- f) definire clară a sarcinilor și responsabilităților;
- g) comunicare între compartimente și între salariați;
- h) producție cu zero defecte;
- i) calitate totală în marketing;
- j) calitate totală în aprovizionare.

„This work was supported by a grant of the Romanian National Authority for Scientific Research, CNDS– UEFISCDI, project number PN-II-PT-PCCA-2011-3.2-0084”

REFERENCES

1. Ishikawa, Kaoru, 1990, *Introduction to Quality Control*, 3A Corporation, Tokyo.
2. Juran, M., Joseph, Godfrey A. Blanton, 1998, *Quality Control Handbook*, Juran, , McGraw – Hill, Newyork.
3. Niculita Lidia, nr. 11/2010, *Implementation of Integrated Management Systems (IMS), Quality - Access to Success*, pag. 17-26.
4. Niculita Lidia, nr. 6/2010, *Projecting Process Analysis in Integrated Management Systems, Quality - Access to Success*, pag. 3-9.

5. Niculiță, L. (2005), *Management and quality engineering*, Editura Academiei Române, Bucuresti.
6. *Sisteme de management al calității – Cerințe*, SR EN ISO 9001:2008.
7. Soare, I., Colceru, D.A., 1995, *Organizarea și conducerea Sistemelor Calității la nivel de întreprindere*, Editura Tribuna Economică, București.
8. *** Quality management systems – Requirements, ISO 9001:2008.
9. *** Quality management systems - Fundamentals and vocabulary, ISO 9000:2008