

Revista Română de Inginerie Civilă

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

Volumul 10 (2019), Numărul 1

Examination of pipeline planning in terms of hydraulic criteria <i>Necati Gülbahar</i>	1-11
Studiu privind impactul reabilitărilor termice asupra consumurilor energetice ale școlilor din România Study on the impact of thermal rehabilitation on energy consumption of schools in Romania <i>Tiberiu Catalina, Marian Grigore, Alexandra Ene</i>	12-26
Particularități legate de refrigerarea bananelor în mijloace de transport mobile utilizând freon R449A Particularities relating bananas refrigeration in mobile transport means using freon R449A <i>Răzvan Calotă, Andrei Lupu</i>	27-33
Evaluarea eficienței nisipului dune ca adăugare minerală pentru a produce beton fibră ultra-performante Assessing the effectiveness of dune sand as a mineral addition to produce ultra-high performance fiber reinforced concretes <i>Farida Ait Medjber, Mohammed Saidi, Brahim Safi, Hamza Mechakra</i>	34-50
Influence of the acoustic insulation position on the reverberation time and noise level in a large classroom <i>Catalin Bailescu, Vlad Iordache</i>	51-62
Variații temporale și spațiale ale efectului insulei de căldură urbană; Studiu de caz pentru municipiul București Space and time variations of the effect of the urban heat island; Case study for the city of Bucharest <i>Florinela Ardelean</i>	63-71
Optimizarea sistemelor de utilizarea a energiei solare pentru încălzirea spațiilor și prepararea apei calde în clădiri Optimizing systems for the use of solar energy for space heating and hot water preparation in buildings <i>Mugurel Talpiga, Eugen Mandric, Florin Iordache</i>	72-82
Sistem de utilizare a surselor regenerabile pentru încălzirea unei clădiri rezidențiale. Metoda de evaluare a performanțelor energetice. Analiza energetică System for the use of renewable sources for heating a residential building. Method of assessing energy performance. Energy analysis <i>Florin Iordache, Mugurel Talpiga</i>	83-95

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

COLEGIUL EDITORIAL

Dr. R.S.AJIN, *Kerala State Disaster Management Authority, India*
Prof.dr.ing. Ioan BOIAN, *Universitatea Transilvania Braşov*
Prof.dr.ing. Ioan BORZA, *Universitatea Politehnica Timişoara*
Conf.dr.ing. Vasilică CIOCAN, *Universitatea Tehnică Gh. Asachi Iaşi*
Prof. dr. Stefano CORGNATI, *Politecnico di Torino, Italy*
Conf. dr. ing. Andrei DAMIAN, *Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti*
Prof.dr. Yves FAUTRELLE, *Grenoble Institute of Technology, France*
Prof.dr.ing. Carlos Infante FERREIRA, *Delft University of Technology, The Netherlands*
Prof.dr. Manuel GAMEIRO da SILVA, *University of Coimbra, Portugal*
Prof.dr.ing. Dragoş HERA, *Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, membru onorific*
Dr. Jaap HOGELING, *Dutch Building Services Knowledge Centre, The Netherlands*
Prof.dr.ing. Ovidiu IANCULESCU, *membru onorific*
Prof.dr.ing. Anica ILIE, *Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti*
Prof.dr.ing. Gheorghe Constantin IONESCU, *Universitatea Oradea*
Prof.dr.ing. Florin IORDACHE, *Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti – **director editorial***
Prof.dr.ing. Vlad IORDACHE, *Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti*
Prof.dr.ing. Karel KABELE, *Czech Technical University, Prague, Czech Republic*
Prof.dr. Birol KILKIS, *Baskent University, Ankara, Turkey*
Prof.dr.ing. Ioan MOGA, *Universitatea Tehnică Cluj Napoca*
Prof.dr.ing. Nicolae POSTĂVARU, *Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti*
Prof.dr.ing. Daniela PREDA, *Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti*
Prof.dr.ing. Adrian RETEZAN, *Universitatea Politehnica Timişoara*
Conf.dr.ing. Daniel STOICA, *Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti*
Ş.l.dr.ing. Ionuţ-Ovidiu TOMA, *Universitatea Tehnică Gh. Asachi Iaşi*
Prof.dr.ing. Ioan TUNS, *Universitatea Transilvania Braşov*
Conf. dr. ing. Constantin ȚULEANU, *Universitatea Tehnică a Moldovei Chisinau, Republica Moldova*
Conf.dr.ing. Eugen VITAN, *Universitatea Tehnică Cluj Napoca*

Revista Română de Inginerie Civilă este fondată, publicată şi finanţată de editura MATRIX ROM

Director executiv: mat. Iancu ILIE

Online edition ISSN 2559-7485

Print edition ISSN 2068-3987; ISSN-L 2068-3987

Examination of pipeline planning in terms of hydraulic criteria

Prof.Dr.Necati Gülbahar

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Istanbul Gelişim University

Avcılar, Istanbul,Turkey

E-mail: ngulbahar@gelisim.edu.tr

Abstract. *Transportation of materials with pipelines has a long history. It is a historical fact that materials were transported through pipelines by Chinese and Romans. Presently, this issue has become multidimensional subject such as engineering, industry, economy, security, environment and foreign policy. Therefore, a pipeline construction should be evaluated in all aspects. In terms of economy and security, pipelines are more economical and reliable than other types of transport. As Turkey is located at the crossroads of energy lines, it should pay special attention to the design of pipelines. In this article, this issue is considered from an engineering perspective. However, this will also have an impact on the other fields. These issues are discussed in this article and suggestions are presented.*

Key words: hydraulics, pipeline, gravity, pump

1.Introduction.

The history of the transport of the material through pipelines is quite old. It is known that the first pipeline transportation was implemented by the Chinese and the gas was transmitted through the bamboo canes. Afterwards, it is known that the Romans transported water through lead or soil pipes. Since the transportation of ore between the mine and processing facility is one of the most challenging and expensive works in mining; initially miners were engaged in this field. They have tried the types of transportation such as railway, highway, sea and river. Then they focused on transportation of the ore with pipelines and they applied that. For the first time in the world, miners in California, USA have pumped the gold ore to washing pools and displayed the first example of pipeline transportation. After 1950s, pipeline transportation was improved and became widespread throughout the world.

In general, the amount of material, the physical and chemical properties of the transported material and distance are the factors that determine the most proper transportation system for each case. However, it has been shown that pipelines are safer than all other transport types for materials that have to be transported over a large distance. Pipeline transportation is the most economical and accident-prone transport method. Today, a large number of pipelines are being used and new ones are built in various parts of the world.

Pipelines are conveying systems that operate under pressure. There are two methods in transportation through pipelines, mainly hydraulic and pneumatic. Fluid is transmitted by the hydraulic method and air or gas is transmitted by the pneumatic method.

In hydraulic transport, the liquid itself is transported; and water or another liquid can be used as carrier, just like in crude oil lines. Pressure in the system provided by pumps. In the pneumatic transportation system, air or gas is used as a fluid. Solid items may also be transported in capsule . The system pressure is provided with air pumps which are called compressors.

Solid, liquid and gas can be transported in pipelines. Materials such as crude oil, natural gas and water can be transported from long distances and the conveyance is provided in process lines at factories through pipelines. Water supply lines, city networks and wastewater systems in rural areas, rural underground irrigation and drainage systems are also common areas where pipelines are used. As a result, pipelines are used extensively. in fields such as urban life, industry, agriculture and energy. When we consider all of these , the hydraulic bases of the pipelines must be well defined and the projects should be prepared accordingly.

Turkey is an energy corridor which is located on among the produces and consumes country Figure1. and Figure 2.



Fig.1. Pipelines in the Middle East

As known, crude oil and natural gas have different physical and chemical properties. Therefore, pipe materials, fitting elements, valves, operating pressures and safety precautions are also different. In addition, these lines may be under the different external atmospheric conditions such as passing through the mountains with 2500-3000 m height and descend to sea level. It may also pass through under the sea, as can be seen in the fresh water pipeline built between Republic of Turkey and Turkish Republic of Northern Cyprus (TRNC) Figure2.

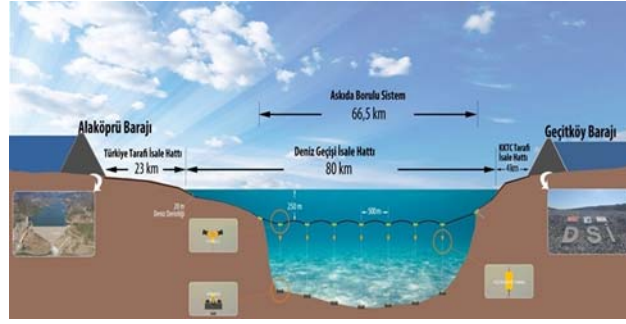


Fig.2. Fresh water pipeline between Turkey and NTRC

However, external atmospheric conditions are as important as internal pressure for these lines. The planning, construction and operation maintenance and repairs of natural gas and crude oil pipelines are subject to the provisions of the regulation published in the official gazette dated 04.07.2014 and numbered 29050 and Petroleum Pipeline Company (BOTAS) is authorized and responsible for them.

Today, considering the advanced stage of material engineering, use of pipes and fitting elements made of suitable materials for the purpose of the project is very important. With no doubt, since the system operates under pressure, the selection of pump or compressor systems to produce this pressure is equally important.

Environmental Impact Assessment(EIA) study and the estimation of the environmental impact are important issues that should be considered during the design step of the pipeline project. In addition, the safety of the pipeline must also be considered during the planning phase.

2. Advantages of Pipeline Transportation

As already mentioned, pipeline transportation has many advantages. These can be ranked as follows;

- It is very economic as compared with other transportation types.
- Prices do not change rapidly.
- The lines are safe because they are often buried under the ground.
- Buried lines do not obscure traffic and other services.
- It is easier to identify the route when compared with railway and highway.
- The accident rates are very low.
- It is possible to increase the transmission rate within certain limits.

3. Disadvantages of Pipelines

Despite the advantages of pipelines, they are also some negative aspects. We can summarized them as follows:

- The initial investment cost is high.

- The cost of filling the line is high.
- Problems such as clogging or breakdown may occur in pipeline.
- Leakage can be obtained from pipelines.
- The possibility of sabotage is very high.
- it is not flexible in capacity and location

4. Pipes materials

In general, pipe material should be strong enough to the forces created by static pressure of fluid, centrifugal forces at bends, momentum forces in section changes and bends, forces due to changes in temperature, water hammer which results sudden stopping of fluid and external loads like soil and traffic loads. Pipes are usually made by using concrete, reinforced concrete, steel, polyvinyl chloride (PVC), and polyethylene (PE) pipes. Recently, significant developments occurred in material engineering and a wide variety of synthetic and composite materials have been developed. These materials are different in terms of expansion, contraction, shrinkage, tensile strength and roughness. The discharge transmitted from steel and PVC pipes under same pressure and with same diameter can be different, because roughness coefficient is different. For example, according to the William-Hazen formula, which is used extensively world and in Turkey to calculate drinking and utility water; steel and PVC pipes with $D=0.250$ m diameter and $J=0.0005$, the flow rate transmitted is $Q=46$ lt/s in a steel pipe and $Q=63$ lt/s in PVC pipe. Materials should be selected in accordance with type and purpose of use of pipe line and also depending on circumstances.

5 Pipeline route determination and safety

Before now, land surveying was carried out on field with the scale 1/25000 and 1/5000 topographic maps. Route selection at land and sea is equally important, however there are differences in terms of material and method in both. Later, by means of developing computer technology and programming it can be carried out more easily. The safety of the pipelines is also very important which should be considered at the planning stage. In general, the following points are taken into account for pipelines to be constructed on land;

- Climate,
- Land conditions,
- Environment and safety
- Complying with standards,
- Legal restrictions,
- Economy,
- Technique,
- Maintenance and Repair

The most important problem at sea is the presence of hydrostatic pressure and moving of pipeline by earthquake and the waves. However, the pipeline can be constructed to the bottom of the sea, and it could also be suspended. In either case, however, pressure and corrosion resistant material is selected and connected to the floor by anchorage. The choice of route is also important at sea. The maritime traffic, the possibility of sabotage and international agreements should be taken into account when choosing safe routes. According to safety and requirements, pipelines can be installed in more than one line. In this case, cost increases along with the capacity naturally.

6. Evaluation in terms of hydraulic criteria

Planning is based on continuity, energy and momentum equations in fluid mechanics. The fact that the flow is three-dimensional so, it requires the use of the three-dimensional form of these equations which further complicate the calculations. However, where the velocity variation in the section is not important, the three-dimensional flow can be thought of as one-dimensional by using average velocity. It can be neglected if the velocity correction coefficients are around $\alpha = \beta = 1$. However, this value should be taken into account, if it is significantly different from one. These approaches provide great convenience to the projects. The most important factor in designing a water pipeline is determining whether the system will work with gravity or with a pump.

6.1 Systems that work with gravity

The piezometer line should never intersect the land. Otherwise, the pressure drops and free surface flow occurs. The flow rate cannot be transmitted. For this reason, the highest point of the ground and the piezometer line should be designed to give the necessary operating pressure in the system. At the following figure 3, the J_1 piezometer line crosses with the highest point C of the land and free surface current is occurred in the pipeline which is unacceptable. Therefore, J_2 water pipeline is designed at which it is transmitted and the proper operation pressure is provided. Figure 3.

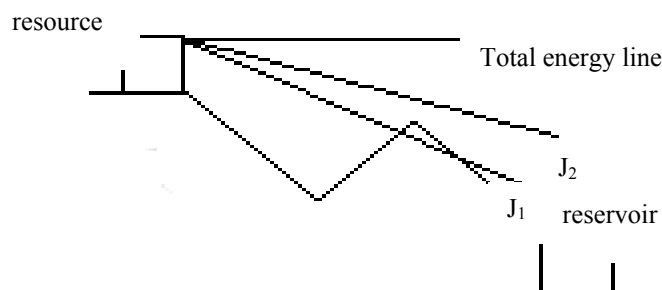


Fig.3.Designing piezometric line

6.2.Reducing excessive pressures

Depending on the static load, excessive pressures may occur in water pipelines which cause pipelines to be damaged and accidents. These overloads must be broken by pressure reducer structure (prs) or high-pressure valves as indicated in the following Figure 4. Energy line 1 is brought to a high pressure and it is broken by pressure reducing structure (prs) and the pressure is brought to the projected level.

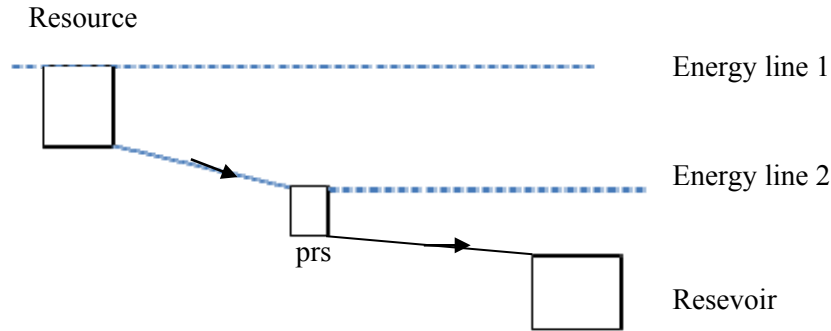


Fig.4. Breakage of excess pressure

6.3 Systems that operate with pump

Pumps are the hydraulic machines that convert the mechanical energy into hydraulic energy. In the design of a pump system; basic concepts such as flow rate, economic pipe diameter, suction and discharge heights, local and continuous load losses, manometric elevation, number of revolutions and pump efficiency must be determined. In a typical pump system, manometric height(H_m), discharge (Q) and is pump power (N) and they can be calculated by the following formulas:

$$H_m = (h_{se} + h_{ke}) + (h_{sb} + h_{kb}) = H_g + \Sigma H_k$$

$$Q = 0,279 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54}$$

$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{75 \cdot \eta} \quad BG = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{102 \cdot \eta} \text{ KW}$$

Where;

H_{se} ; static suction height

H_{sb} ; static pressure height

H_g ; geometric height

H_k ; total loss

γ ; specific wight of fluid

Q ; discharge

C; coefficient of William – Hazen equation

D; diameter of pipe

J; hydraulic grade line

As known, open air pressure is theoretically 10.33 m. at the coast. This gives out the theoretical suction height (H_{se}). Depending on the topographic structure, this decreases. The maximum suction heights in the pumps are even lower due to the continuous and local losses in the exhaust pipe. The pumps operate at high efficiency at a certain speed and the efficiency is low at the other speeds. The pump efficiency is a function of the flow rate and manometric height (H_m). For this reason, it is important to determine the pump performances and the number of cycles in comparison. Pumps can be classified in various forms; but mainly, they can be divided into two groups as centrifugal and volumetric pumps;

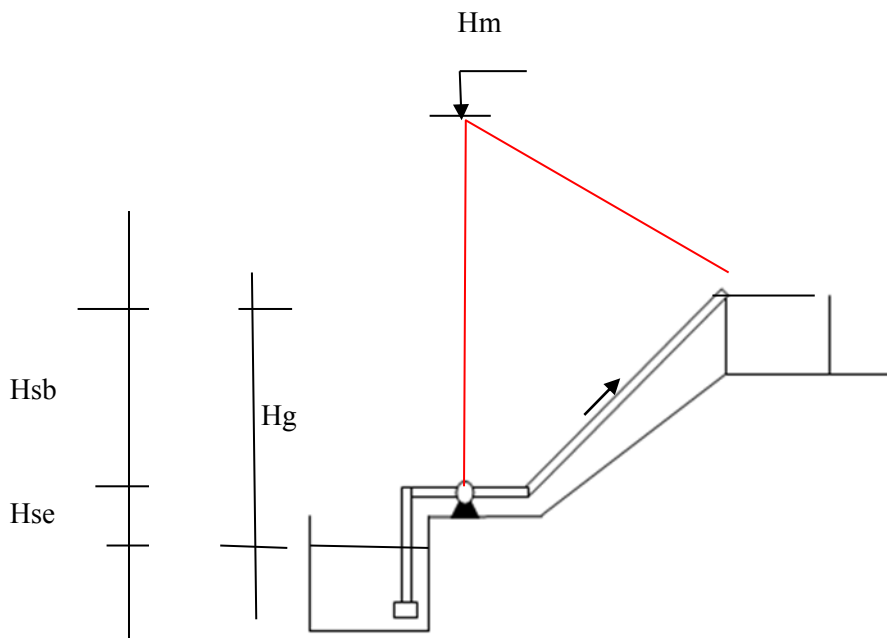


Fig. 5. Schematic heads of a pumping system

6.2.1 Pump selection criteria

Pumps are selected some certain criteria which are summerized at the following;

- Flow rate to be transmitted
- Manometric height
- Turn rate of pump shaft
- Pump efficiency
- Silent and non-vibration operation of pump

- Pump dimensions
- Pump price
- Spare Part
- Easy maintenance and repair of the pump

6.2.2 Connection types of pump When a pump is not adequate, then the pumps can be connected in series or parallel to increase the flow or manometric heights.

Serial Connection It is used when it is necessary to increase the pressure load without increasing the load

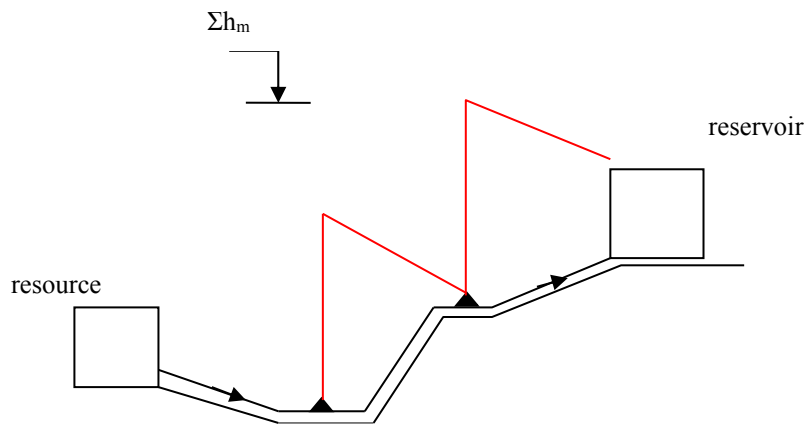
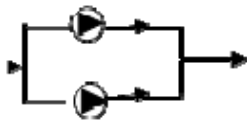


Fig.6.Serial connection

Parallel Connection In this type of connection the flow rate increases, but the manometric height does not change.



$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$H_m = H_{m1} = H_{m2}$$

Fig.7.Paralel connection

Specific Speed By definition, it is the number of cycles of the pump that presses 1m³/sec flow to 1 m height. In other words, it is the number of revolutions per minute(rpm) required to turn the pump that presses 1m³/sec flow to 1 unit height. It can be calculated by the following formula;

$$n_s = n \cdot Q^{\frac{1}{2}} \cdot H_m^{-\frac{3}{4}}$$

where;

n_s ;specific speed (rpm)

n : number of pump cycle

H_m ; manometric height

Q ; discharge

Pump efficiency The pump that completes the same task with the lowest specific speed or number of cycles is considered as the most efficient pump. The efficiency of the pumps is around $\eta = 70 - 75\%$ practically.

6.2.3 Head losses

Head loss is loss of energy which occurs due to frictional forces between a flowing fluid and the pipe or channel at which the fluid moves. There are two types of head losses;

Continuous head losses The loss due to frictional forces between fluid and pipe is called continuous head losses and which is calculated by the Darcy-Waisbach formula

$$h_{ks} = f \times \frac{L}{d} \times \frac{v^2}{2g}$$

Where;

h_{ks} ; continuous head loss

f ; frictional factor

d ;diameter of pipe

v ; velocity

g ;gravitational acceleration

Local head losses This type of energy losses occur at the places where the direction of streamline changes such as horizontal and vertical bends, diameter changes, tee, valve on the line, backfire block. Each element has different local coefficients (k) which can be taken from charts and can be calculated with the following general formula;

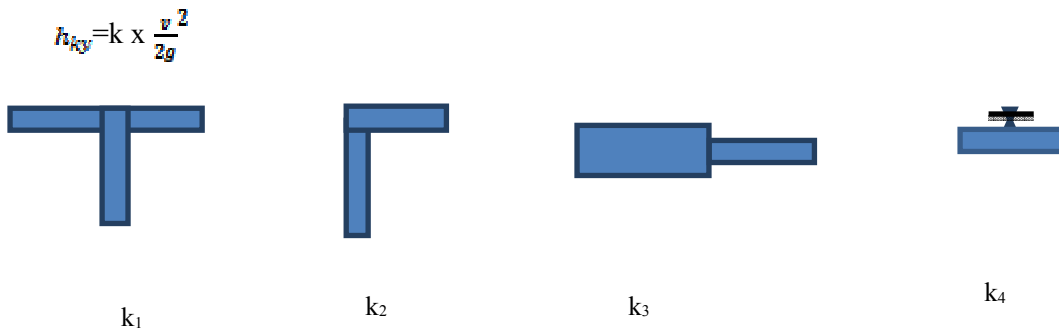


Fig.7. Local losses

Suppression and depression lines A running pump may stop in cases of a sudden failure or power surge. In this case, the upward mass of water slows down first and then returns. If the pump stops, the mass of water continues to move for a while due to the inertia force, which causes excessive pressure drop in the pipe and this is defined as depression. The returning water accelerates by gravitational force and moves towards the pump and creates an excessive pressure on the pump and pipelines, which is called the suppression. It can be calculated by the following formula

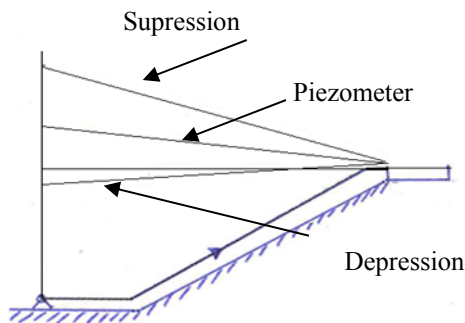


Fig.8. Suppression and depression lines

$$a = \frac{5900}{\sqrt{48 + \frac{k \cdot d}{\epsilon}}}$$

$$\Delta h = \pm \frac{a \cdot \Delta p}{g}$$

Where;

- a; wave diffusion speed
- k; modulus of elasticity of fluid
- Δh ; high or low pressure head
- d; pie diameter
- ϵ ; modulus of elasticity of material
- g; acceleration of gravity

Conclusion

While planning the pipeline, it is necessary to comply with the law, regulations, technical specifications and sales plans in the project and the construction. Another important issue is that environmental impact assessment (EIA) should be undertaken and foreseen possible impacts on environment at the planning stage, not after the project. If required, expropriation can be conducted in the route of pipeline. If there

may be obstacles such as roads, railways, rivers, swamps, the necessary transition structures should be designed. After the route is determined, if there are some underground facilities or infrastructures should be investigated. One should have sufficient knowledge about geological structure, fault lines and ground structure.

It is very important to determine the lowest and highest pressure points on the route by determining the energy and piezometer levels in pipeline design. The pressure in lines must be kept within acceptable limits. The lines should not be laid entirely parallel to the ground. Otherwise, this increases the number of top and bottom points. In this case, while at low points increase the drainage valves requirements and the high points make necessary air discharge valves. After the internal pressure and external pressure or conditions are determined, strong enough pipe material must be selected. Price out should be implemented according to current market conditions.

Once the energy levels have been determined, it should be decided whether the system will operate with gravity or with the pump; and if it will operate with gravity, the most economical pipe diameter that can carry the flow should be calculated. Then, it should be checked whether the flow rate and manometric height meet the requirement. If not, the pumps must be operated in serial, parallel or gradually. In addition, the system should be run and tested after the pipeline has been installed in the ditches, and then the ditches must be covered.

References

- [1] Ağırlioğlu N. ve Erkek C. „Su kaynakları Mühendisliği”, Birsen yayınevi, İstanbul, 2000.
- [2] BOTAŞ, „Ham petrol ve doğalgaz tesisleri emniyet ve çevre yönetmeliği”, Resmi Gazete, sayı :29050, tarih 04.07.2014.
- [3] Deniz V. „Boru hatları yapımında teknik esaslar ve tedarikte güvenlik”, İstanbul.
- [4] Güner A. „İçmesuyu İsale hatlarında Boru tipleri”, 2012
- [4] Karadoğan H. „Boru hatları tasarımı”, IX.Ulusal tesisat mühendisliği kongresi, İzmir, 2009
- [5] Muslu Y. „Su ve atık su teknolojisi”, Seç yayın dağıtım, İstanbul, 2000
- [6] Muslu Y. „Su temini ve çevre sağlığı” 2000
- [7] Samsunlu A. „Su Getirme ve kanalizasyon”, Çevre teknolojileri merkezi, İstanbul, 1997
- [8] Sümer M.B. Ünsal İ, Bayazıt M. „Hidrolik”, Birsen yayınevi, İstanbul, 2007

Studiu privind impactul reabilitărilor termice asupra consumurilor energetice ale școlilor din România

Study on the impact of thermal rehabilitation on energy consumption of schools in Romania

Tiberiu Catalina^{1,2}, Marian Grigore¹, Alexandra Ene¹

¹ Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Inginerie a Instalațiilor

² Universitatea Babes Bolyai, Facultatea de Știința și Ingineria Mediului

B-dul Pache Protopopescu nr. 66, sector 2, Bucuresti, Romania

E-mail: tiberiu.catalina@gmail.com, sergiu85_ro@yahoo.com, alexandra.angelescu17@gmail.com

Rezumat. Reabilitarea termică a clădirilor educaționale este foarte importantă din mai multe puncte de vedere: sporirea confortului termic, reducerea consumului energetic și mai ales reducerea emisiilor de dioxid de carbon. Lucrarea prezintă cazuri de succes unde eficientizarea energetică a fost una considerabilă. În partea a doua a prezentului articol se prezintă informații noi și interesante privind analiza energetică a 13 clădiri educaționale la care s-au propus măsuri de reabilitare termică majore, de la anveloparea termică până la instalarea de panouri solare fotovoltaice. S-a putut constata că cel mai mare consumator energetic este încălzirea cu un procent de peste 80% din totalul de energie iar iluminatul cu aprox. 15%. Prin aplicarea măsurilor de eficientizare energetică s-a realizat o reducere medie de 63%. Pe baza datelor statistice privind suprafața totală aferentă clădirilor educaționale avem o valoare de 17,4 mil. m² care dacă ar fi renoați în întregime am obține economii de 172 mil.€/an și un nivel de emisii de 131 022 tone CO₂/an. La costurile actuale de renovare estimăm că renovarea completă s-ar rentabiliza între 18-28 ani în funcție de investițiile efectuate. Dacă totuși timpul de retur al investiției nu este unul mic trebuie totuși avut în vedere faptul că emisiile de CO₂, prin urmare efectul benefic asupra mediului, vor fi mult scăzute.

Cuvinte cheie: reabilitare termică, școli, consumuri de energie

Abstract. The thermal rehabilitation of educational buildings is very important from many points of view: increased thermal comfort, reducing energy consumption and especially reducing carbon dioxide emissions. The study shows successful cases where energy efficiency has been considerable. The second part of this article presents new and interesting information on the energy analysis of 13 educational buildings where major thermal rehabilitation measures have been proposed, from thermal envelope to the installation of photovoltaic solar panels. It has been found that the largest energy consumer is heating with more than 80% of the total energy and the lighting with approx. 15%. By applying the energy efficiency measures an average reduction of 63% was achieved. Based on the statistical data on the total area of educational buildings, we have a value of 17.4 million m² which, if fully renovated, would achieve savings of 172 million € / year and an emission level of 131 022 tonnes / year. At the current renovation costs, we estimate that the return on the investment on the full renovation of the entire buildings park would be between 18-28 years. If, however, the return time of the

investment is not a small one, it should nevertheless be taken into account that CO₂ emissions, and thus the beneficial effect on the environment, will be very low.

Key words: *thermal refurbishment, Romanian schools, energy consumptions*

1. Introducere

Evoluția și dezvoltarea unei societăți se bazează pe utilizarea energiei iar acest lucru este esențial în producerea de bunuri și servicii care contribuie la obținerea bunăstării. În prezent, UE este dependentă de importarea de combustibili fosili (peste 90% din petrol și peste 66% din gazele naturale). Îngrijorată de această situație, UE a demarat în 2014 Comisia Europeană elaborarea Strategiei de Securitate Energetică, care are ca scop asigurare o aprovizionare sigură și stabilă a energiei. Această strategie urmărește reducerea consumului de energie la nivel european prin îmbunătățirea eficienței energetice, creșterea producției de energie atât din resurse tradiționale, cât și din surse regenerabile [1].

Marea majoritate a clădirilor terțiare din România sunt, în general, ineficiente din punct de vedere energetic și acest lucru se datorează unor standarde de construcție de proastă calitate, o lipsă de reglementări în construcții, o izolare termică insuficientă, practici de întreținere insuficiente sau necorespunzătoare. Clădirile nerezidențiale reprezintă 18% din totalul de clădiri a României [8]. Administrația publică, clădirile comerciale și școlile împreună reprezintă aproximativ 75% din consumul de energie nerezidențial fiecare reprezentând 20-25% din total. Printre clădirile terțiare școlile au fost identificate ca un mare sector al acestor clădiri. Un număr de aproximativ 6000 de școli au fost înființate în România între anii 1946 și 1970. În ceea ce privește performanța energetică, clădirile educaționale au consumuri mari de energie (270-350 kWh/m²/an) comparativ cu alte sectoare care se situează în intervalul 200-250 kWh/m²/an.

Majoritatea acestor școli au probleme cu încălzirea, inclusiv imposibilitatea monitorizării energiei sau a contabilizării acesteia, probleme privind sistemul de distribuție apă caldă menajeră, cazane cu eficiență scăzută fără reglarea corectă a arzătorului sau pierderi excesive de căldură datorate unei izolări termice insuficientă.

Clădirile se află în centrul strategiei energetice UE de a realiza o scădere inteligentă a consumurilor de energie coroborată cu utilizarea tot mai mare a surselor de energie regenerabilă. UE a afirmat în mod constant că investiția în renovarea eficientă din punct de vedere energetic a clădirilor este o soluție câștigătoare. Renovarea energetică fiind costisitoare finanțarea este cheia succesului. Există surse importante de finanțare europene care sunt disponibile în domeniul eficienței energetice și sunt concepute astfel încât să fie ușor pentru toți consumatorii să investească în renovarea clădirilor (exemple de programe - Programul Operațional Regional și altele).

Clădirile comerciale reprezintă cea mai mare pondere din suprafața totală a sectorului terțiare (31%). Sunt urmate de clădirile educaționale (29%), sănătate (16%),

birouri (13%) și hoteluri și restaurante (9%). Un procent de 2% reprezintă clădirile din categoria "altele", care includ logistica, clădirile industriale etc. În sectorul terțiar, încălzirea reprezintă 55% din consumul total și încălzirea apei 10%. Iluminatul (9%) și aerul condiționat (6%) sunt mai importante decât în sectorul rezidențial. [7]

Sunt de un mare interes intervențiile și procesele efectuate asupra clădirilor educaționale cu scopul economiei de energie în condițiile asigurării unui microclimat confortabil. Toate aceste proceduri au fost denumite măsuri de eficientizare energetică a clădirii. Prin aplicarea acestor măsuri, pe lângă economia de resurse primare se realizează și reducerea de emisii poluante. Există mai multe metode prin care se poate spori eficiența energetică, începând de la educarea ocupanților imobilului în spiritul economiei de energie, până la efectuarea unei expertize și a unui audit energetic în urma cărora expertul oferă un pachet de soluții tehnice de modernizare. Soluțiile respective sunt influențate de tipul construcției, vechime și destinație. Reabilitarea termică a unei clădiri înseamnă îmbunătățirea ei în scopul păstrării căldurii în interior, sau în funcție de anotimp, la exterior. La nivel național, în anul școlar 2017-2018, își desfășoară activitatea un număr de 8300 de școli în sectoarele urban și rural conform website Inspectorate Școlare județene. Considerând că dintre acestea numai o mică parte au fost reabilite energetice, este lesne de înțeles importanța care trebuie acordată modernizării.

Reglementările europene impun tuturor școlilor să reducă consumul de energie și costurile. În ultimii ani, costurile de energie ale școlilor au fost imprevizibile. În mod obișnuit, vremea rece crește încălzirea și facturile la electricitate.

Au fost implementate următoarele măsuri demonstrative de economisire a energiei în câteva școli [8]

Școala 1: Înlocuirea unui cazan vechi și inefficient cu ulei. Această măsură cu costuri ridicate era așteptată să economisească aproximativ 250 MWh/an (aproape 11% din costuri), oferind economii anuale mai mari de 7000 de euro și un timp de retur al investiției de 6,5 ani.

Școala 2: Modernizarea sistemului de iluminat prin înlocuirea a 72 de corpuri de iluminat cu o reducere de aproximativ 30% (950 de euro) astfel un timp de retur al investiției de doar 3 ani.

Școala 3: Reabilitarea unui sistem de încălzire cu combustibil lichid. Această măsură cu costuri ridicate era de așteptat să economisească 20151 kg de combustibil pe an, rezultând economii financiare anuale de peste 14.000 de euro, care oferă un retur al investiției în doar 3 ani. Instalarea a aproximativ 520 m² de ferestre eficiente a redus pierderile de căldură cu 50% și economisirea a aproximativ 5700 de euro pe an astfel investiția s-a rambursat în doar 3,4 ani.

Școala 4: 535 m² de ferestre eficiente au redus pierderile de căldură până la 43%, economisind aproximativ 3.000 de euro pe an și rezultând o perioadă de amortizare de aproximativ 6 ani.

Cercetările privind performanța energetică și gestionarea energiei în clădirile publice, în special școli, au făcut obiectul mai multor publicații semnificative în ultimii 15 ani. Butala și Novak constată că în clădirile școlare din Slovacia capacitatea

nominală de încălzire este de 57% supradimensionată, iar pierderile de căldură sunt cu 89% mai mari decât valorile recomandate. Într-un alt studiu [9-10] au fost efectuate audituri energetice pe 238 de clădiri școlare din Grecia, legate de încălzire, răcire, iluminat și sisteme mecanice și electrice, pentru a verifica indicatorii consumului de energie și oportunitățile de a face economii de energie. Acest studiu a constatat că consumul total mediu anual de energie este de 93 kWh/m²; din care aproximativ 72% sunt consumate pentru încălzirea spațiului. Evaluarea diferitelor tehnici de conservare a energiei prezintă un potențial de conservare a energiei totale de 20%. Dimoudi și Kosterala [11] au avut o altă abordare prin evaluarea performanței energetice a clădirilor școlare din zona climatică rece a Greciei, o regiune cu temperatură mai scăzută a aerului în perioada de iarnă.

Prin intermediul datelor monitorizate au evaluat potențialul măsurilor de conservare a energiei. Constatările lor au estimat un consum mediu anual de energie de 123,31 kWh/m² pentru toate clădirile școlare, clădirile neizolate având un consum mediu peste 139,16 kWh/m² și clădirile izolate lejer de doar 115,38 kWh/m². Prin îmbunătățirea izolației termice, beneficiul net care a rezultat a fost o reducere a consumului de energie de până la 13,34%. Un alt studiu realizat în orașul Kozani (Grecia - zonă climatică rece) a fost realizat în grădinița publică și în școala primară, utilizând atât măsurători de teren, cât și chestionare. Printre principalii parametri studiați sunt eficiența energetică, mediul termic și calitatea aerului. Controlul incorect al sistemelor de încălzire și iluminare, lipsa unor măsuri legislative adecvate și, mai presus de toate, lipsa de interes față de eficiența acestor clădiri au fost principalii factori care afectează performanța generală a clădirilor investigate [12].

Mai mult, o altă lucrare de cercetare, care vizează îmbunătățirea performanței energetice în clădirile școlare, asigurând în același timp ventilarea aerului în interior, a fost propusă de [13]. În acest studiu, a fost folosit un proces pas cu pas pentru a satisface soluțiile de proiectare care se confruntă cu dilema EE-TC-IAQ (eficiența energetică-confort termic-calitatea aerului interior). Rezultatele indică faptul că implementarea schemelor optimizate de ventilație are ca rezultat economii de 28-30% și, respectiv, 17-18% pentru orientările de clasă din nord și sud. [14]

Atunci când se calculează evaluarea energetică a unei școli, aceasta se face pe baza EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) folosind oricare dintre cele două modele posibile de calcul. Primul constă în pornirea de la caracteristicile cunoscute ale clădirii (abordare în perspectivă) [15], în timp ce cea din urmă (abordare inversă) utilizează contoare de energie pentru a evalua consumul de energie. (Balaras și colab., 2000) [16]. Prin urmare, există standarde de benchmarking pentru performanța energetică a școlilor în multe țări ale UE. [17] Mai multe studii au examinat, de asemenea, utilizarea tipică de încălzire în clădirile școlare. O investigație în Italia a relevat că există o cantitate considerabilă de consum de petrol care poate fi redusă semnificativ dacă se folosesc tehnici de economisire a energiei și surse regenerabile. [18]

Având în vedere că sectorul școlar consumă cantități mari de energie pentru încălzire și electricitate, măsurile de economisire a energiei sunt vitale. În medie, 13%

din consumul total de energie în SUA, 4% în Spania și 10% în Marea Britanie sunt consumate de sectorul școlar. [19]

Școlile reprezintă 10% din consumul total de energie în România. Din totalul unităților educaționale 16.817 (74%) utilizează sobe cu lemne și numai 5.863 (26%) au încălzire centralizată. Consumul de energie în școli este destul de tipic - clădirile nu sunt folosite, de obicei, seara și noaptea, nici în săptămânile și în sărbătorile școlare. De fapt, clasele sunt utilizate mai mult sau mai puțin 180 de zile pe an, de la ora 8.00 până la ora 16.00, ceea ce înseamnă aproximativ 1 440 ore / an.

Din considerentele menționate anterior este clar că problema îmbunătățirii performanței energetice a clădirilor publice și, în special, a clădirilor școlare, este un subiect de actualitate. Problema este și mai relevantă astăzi, de vreme ce statele membre trebuie să definească strategii și să decidă acțiunile de modernizare energetică pe care le-ar putea întreprinde în ceea ce privește stocurile publice de clădiri existente în punerea în aplicare a Directivei 2012/27 / UE.

O mare parte din școli au fost deja reabilitate în București astfel Conform prefecturii București avem următoarele cifre: sector 1 (11 unități de învățământ recepționate), sector 2 (24 unități de învățământ recepționate – 19 școli generale și 5 colegii), sector 3 (11 unități de învățământ recepționate – 7 școli generale, 1 școală specială și 1 colegiu), sector 4 (23 unități de învățământ recepționate -21 școli generale, 2 școli speciale), sector 5 (13 unități de învățământ recepționate -5 școli generale, 1 școală specială, 4 colegii și 2 grădinițe), sector 6 (19 unități de învățământ recepționate -15 școli generale, 2 școli speciale, 1 grup școlar și 1 grădiniță).

În lucrarea de față vor fi tratate clădirile destinate învățământului, în speță, cele destinate învățământului preuniversitar prin prezentarea unor studii de caz de succes dar și rezultate privind analiza consumului energetic a mai multor școli și măsurile de reabilitare termică care s-au aplicat .

2. Studii de caz

Un studiu de caz interesant [2] este construcția unei școli de 4000 m² care are o capacitate de 450 studenți și 65 profesori. Unul dintre principale obiective ale construcției a fost eliminarea punților termice. Școala s-a dorit a fi eficientizată energetic printr-o serie de măsuri importante: izolarea termică a pereților exteriori cu 15 cm de vată minerală, 25 cm de vată de minerală la nivelul podului și instalarea de ferestre tip tripan. Pentru sisteme de încălzire s-a folosit o pompă de căldură de 75 kW care asigură un climat corect atât iarna cât și vara. Pentru asigurarea calității aerului un sistem de ventilare cu recuperare de căldură cu o eficiență estimată de 70% a fost folosit. S-a pus un accent important pe etanșeizarea la aer pentru reducerea infiltrațiile de aer rece nedorite și care ar putea mări consumurile energetice.



Fig. 1. Fațadă școlii, izolarea termică a pereților și a fundațiilor [2]

Un alt caz de succes este cel de la Sibiu unde la Liceul “Constantin Noica” prin intermediul unei finanțări europene va fi implementat și un sistem de tip BMS (“Building Management System”) care va urmări toate procesele energetice și de confort din liceu ameliorând atât consumul energetic dar și nivelul de confort. La fel ca și la studiul de caz prezentat anterior liceul va dispune de o pompă de căldură, iluminat LED și panouri fotovoltaice.

Prin programul REGIO – Programul Operațional Regional 2014-2020 Axa 3.1 Sprijinirea eficienței energetice, a gestionării inteligente a energiei și a utilizării energiei din surse regenerabile în infrastructurile publice, inclusiv în clădirile publice, și în sectorul locuințelor B Clădiri publice s-a finanțat reabilitarea școlii gimnaziale Nagy Imre din Miercurea Ciuc. Consumul de energie primară s-a redus de la 295,64 kWh/m²/an la 163,82 kWh/m²/an iar din punct de vedere al emisiilor de CO₂ de la 63,31 kg/m²/an la 33,53 kg/m²/an (scădere de 29,78 tone CO₂). Principalele investiții au fost alocate izolării anvelopei, schimbării sistemului de încălzire și a furnizării de apă caldă și instalarea de panouri fotovoltaice policristaline care reprezintă 11,03% din total energiei utilizate la finalul renovărilor. Beneficiarii proiectului sunt cele 66 cadre

didactice și cei 864 copii, costul investiției fiind de aprox. 1,4 milioane euro. Acest cost dacă îl raportăm la număr de beneficiar avem 1500 euro/persoană o valoare considerabilă. Reabilitarea Scolii Gimnaziale I.Gh. Duca Rm. Valcea unde activează aproximativ 29 de profesori și 350 elevi investiția a fost de 370 000 euro sau 976 euro/persoană. La Școala Gimnazială nr. 22 Galați investiția a fost de aprox. 600 000 euro sau 907 euro/persoană. S-au instalat și 40 de panouri fotovoltaice de 250 Wp fiecare cu o putere totală instalată de 10 kWp.

Avantajele majore ale reabilitărilor termice sunt asigurarea confortului termic prin intermediul de centrale noi care fiind automatizate permit încălzirea școlii pe tot parcursul zilei inclusiv noaptea sau în weekend. Mai mult pot încălzi diferit zone ale clădirii în funcție de necesitate. Cum majoritatea școlilor din mediul rural se încălzesc cu centrale termice pe lemne, schimbarea acestora cu unele eficiente/automatizare pe peleți ar aduce mai multe beneficii: optimizarea costurilor pentru achiziția combustibilului, ardere mai eficientă deoarece se va folosi un lemn cu o umiditate scăzută, reducerea efortului fizic necesar fochistului școlii de a transporta lemnul de la locul de stocare la centrala termică, reducerea zgomotelor datorate tăierii lemnului și care pot perturba procesul educațional dar și reducerea spațiului de stocare.

În vederea reducerii emisiilor de gaze cu efect de seră trebuie adoptate măsuri și procese tehnologice dintre care se pot menționa:

- ✓ Reducerea necesarului de energie electrică și termică pe baza pierderilor (de exemplu: transportul și distribuția energiei electrice la tensiuni optime, implementarea unor sisteme de iluminat cu eficiență luminoasă ridicată – surse Led în detrimentul celor incandescente sau fluorescente; izolarea termică a anvelopei inclusiv schimbarea tâmplăriei existente cu unele eficiente energetic).
- ✓ Îmbunătățirea randamentelor de conversie a sistemelor de producerea electricității – centrale electrice, turbine cu gaz, etc.
- ✓ Creșterea ponderei energiei nucleare și regenerabile (sisteme termosolare, sisteme integrate PV, eoliene, geotermale, etc.).
- ✓ Reducerea emisiilor de CO₂ prin captarea lor parțială.

mai bună din perspectiva comunității devenind un exemplu de urmat.

3. Analiza energetică

În vederea evaluării performanței energetice a clădirilor și instalațiilor aferente, țara noastră beneficiază de o metodologie de calcul care are la bază legea 372/2005 care are ca scop promovarea creșterii performanței energetice a clădirilor, ținându-se cont de condițiile climatice exterioare și de amplasament, de cerințele de temperatură interioară și de eficiență economică. Această metodologie este alcătuită din cinci părți: I, II, III, IV, V. Deasemenea există normativ C107/2 pentru calculul coeficientului global de izolare termică a clădirilor cu altă funcțiune decât cea rezidențială.

Pentru a analiza impactul reabilitărilor termice s-au studiat 13 clădiri educaționale situate în județele Mureș, București și Prahova. Unele dintre ele aveau nevoie de o reabilitare completă, altele având deja implementate anumite măsuri, de exemplu ferestrele vechi de lemn erau înlocuite deja cu unele de tip termopan. Clădirile educaționale analizate sunt diverse ca destinație (școală, grădiniță, liceu, sală sport, atelier) și ca număr de elevi de la școli mici (30-50 elevi) până la licee mari (802 elevi). Majoritatea clădirilor analizate din județul Mureș se află situate în zone rurale iar sursa de încălzire sunt centralele termice cu lemne. Pentru București și Prahova sursa principală utilizează gazele naturale.

Tabelul 1

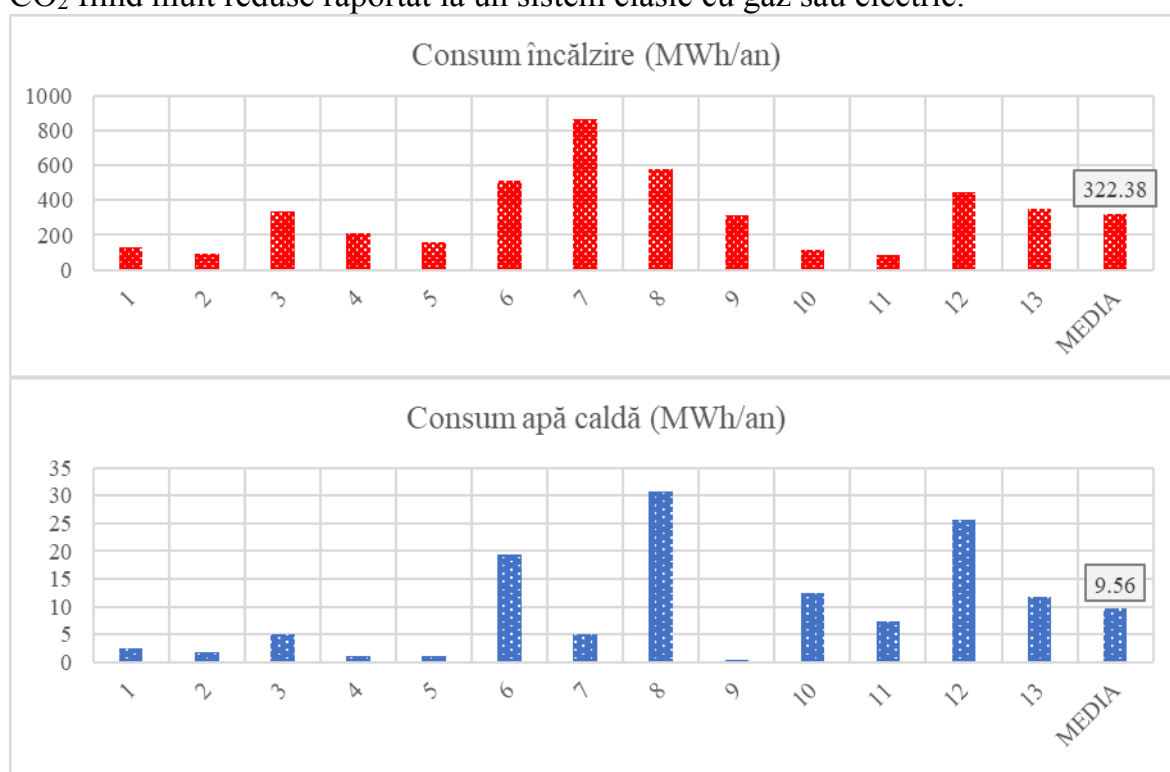
Detalii clădiri educaționale studiate din punct de vedere energetic

Nr.	Tip	Județ	S utilă (m ²)	S desfășurată (m ²)	Volum (m ³)	Nr. elevi și personal
1	Școală	Mureș	561.47	689	2756	82
2	Grădiniță	Mureș	358.26	412	1648	67
3	Școală	Mureș	1001.74	1152	4608	150
4	Sală sport	Mureș	412.17	474	1896	50
5	Atelier	Mureș	311.3	358	1432	50
6	Liceu	Mureș	1924	2179	8716	515
7	Liceu	Mureș	2290	2500	10000	150
8	Liceu	Mureș	2570	3028	12112	802
9	Liceu	Mureș	1200	1332	5328	30
10	Grădiniță	București	1423.9	1637.47	6549.88	334
11	Școală	București	886.95	1020	4080	208
12	Liceu	Prahova	2154	2364	9456	670
13	Liceu	Prahova	1458.38	2364	9456	320

Din figura de mai jos putem observa că avem consumuri de energie diferite pentru încălzire sunt diferite pentru cele 13 clădiri studiate în funcție de gradul lor de izolare, poziția geografică, aporturile de căldură, tipul de sistem de încălzire și evident în funcție de volum de încălzit. Trebuie precizat faptul că în medie avem o pondere de peste 80% aferentă încălzirii raportată la consumul total. Al doilea consumator după încălzire este iluminatul cu un procent de 10%÷15% și în cele din urmă apa caldă care reprezintă 3%÷5%. Media consumului total este una care am regăsit-o și în alte studii, mai exact 315 kWh/m²/an fapt care clasează clădirile educaționale printre cei mai mari consumatori de energie raportat la m². Acest lucru se datorează nu numai lipsei de izolare termică sau a unui sistem de încălzire inefficient dar și lipsei de control asupra temperaturii interioare din săli care în multe cazuri depășesc cu mult temperatura stabilită (19°C÷20 °C) ajungând lejer la valori de peste 24 °C.

Măsurile principale de eficientizare energetică au fost anveloparea clădirilor care nefiind izolate aveau rezistențe termice mici (pereți valori inferioare < 1 m²K/W planșeu pod valori inferioare < 0,5 m²K/W sau ferestre valori inferioare < 0,4 m²K/W). În majoritatea cazurilor renovarea s-a propus a se face prin creșterea rezistenței termice a pereților exterior prin adăugarea unui strat de izolație termică (polistiren

expandat ignifugat sau vată bazaltică) cu o grosime de 10 cm. Astfel rezistențele termice au crescut în medie cu aprox. $2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$. Pentru tâmplărie s-au propus ferestre de tip triplu vitraj cu rezistențe termice minime de $0,77 \text{ m}^2\text{K/W}$ până spre $1,2 \text{ m}^2\text{K/W}$). În ceea ce privește sistemele de încălzire s-a propus înlocuirea cazanelor termic vechi cu unele performante astfel că randamentele au crescut la peste 95%. În paralel schimbarea instalației de încălzire interioară (distribuție, radiatoare, robineti termostatați) a redus consumul energetic. Din punct de vedere al iluminatului principalele măsuri de reducere au fost schimbarea corpurilor de iluminat cu unele de tip LED și instalarea de panouri fotovoltaice în anumite situații în funcție de tipul de finanțare. Puterile maxime propuse au fost până în 27 kWp pentru a putea beneficia de noua lege promulgată recent privind posibilitatea injectării de curent electric în rețeaua națională. Astfel pe perioadele de vară școlile pot deveni prosumatori reușind astfel să reducă timpul de recuperare al investiției sub 10 ani, participând în același timp la reducerea emisiilor cu efect de seră. Pentru apa caldă menajeră măsurile propuse au fost instalarea de panouri solare termice dar impactul lor din punct de vedere energetic nu va fi cel așteptat pentru că randamentul lor este maxim vara când școala nu funcționează. Rolul lor este mai degrabă de conștientizare asupra comunității și a elevilor privind necesitatea reducerii consumului de energie și investirea în sisteme care folose surse regenerabile de energie, care chiar dacă au un timp de retur al investiției peste 10 ani au marele avantaj ca sunt prietenoase cu mediul emisiile de CO_2 fiind mult reduse raportat la un sistem clasic cu gaz sau electric.



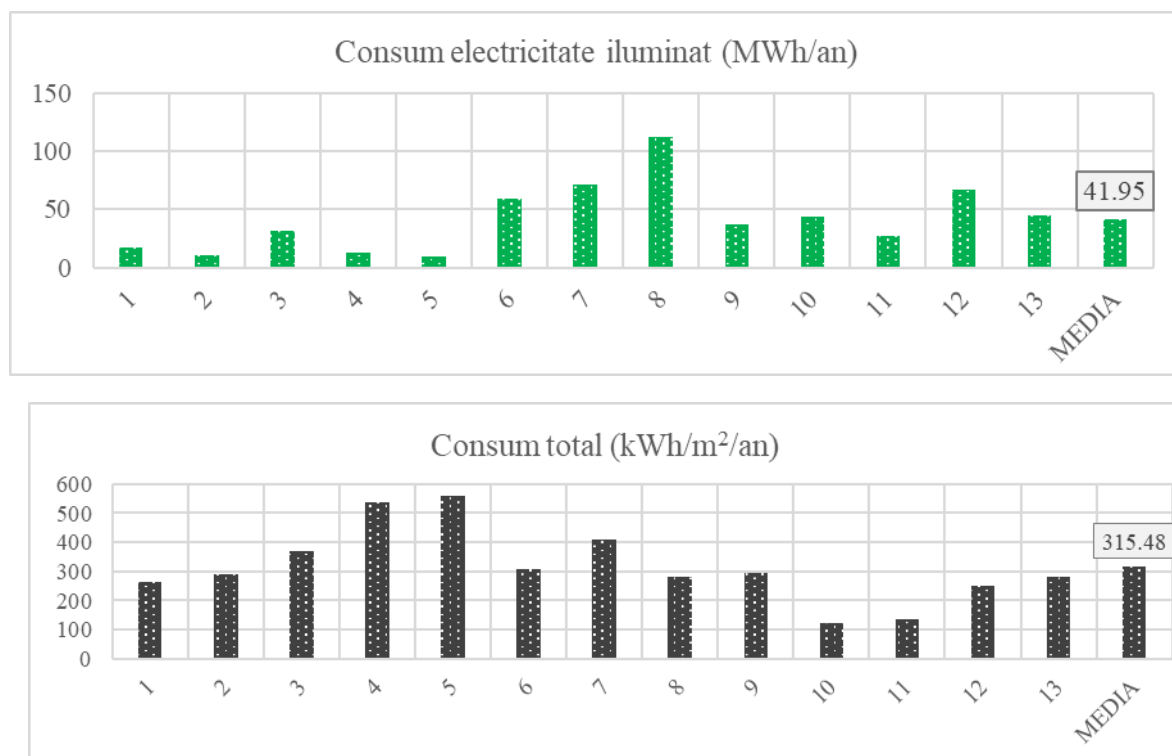
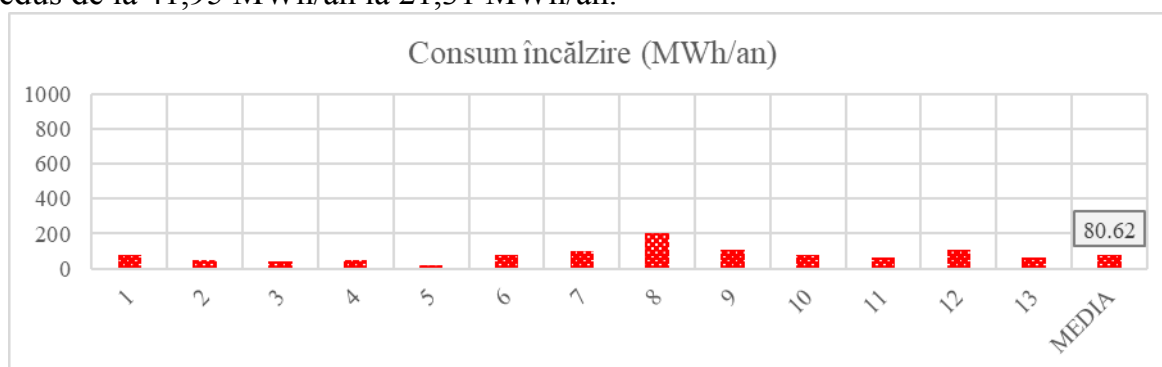


Figura 1. Consumuri energetice pentru cele 13 clădiri studiate înainte de reabilitarea termică

Calcululele privind reducerea consumului de energie prin implementarea măsurilor mai sus prezentate au fost realizate pe baza metodologiei de audit energetic dar și prin utilizarea de simulări numerice. La fel ca și în situație dinainte reabilitării termice încălzirea reprezintă în continuare consumatorul preponderent. Din punct de vedere al mediei pentru cele 13 școli avem o reducere de la 322 MWh/an la 80,62 MWh/an. Pentru apa caldă anumite școli (ex. 2,9,10) au beneficiat și de un aport solar prin instalarea de captatori solari termici astfel consumul lor energetic s-a redus cu 22% până la 33%. Iluminatul fiind al doilea mare consumator de energie după încălzire măsurile de eficientizare au ajutat foarte mult astfel consumul mediu s-a redus de la 41,95 MWh/an la 21,31 MWh/an.



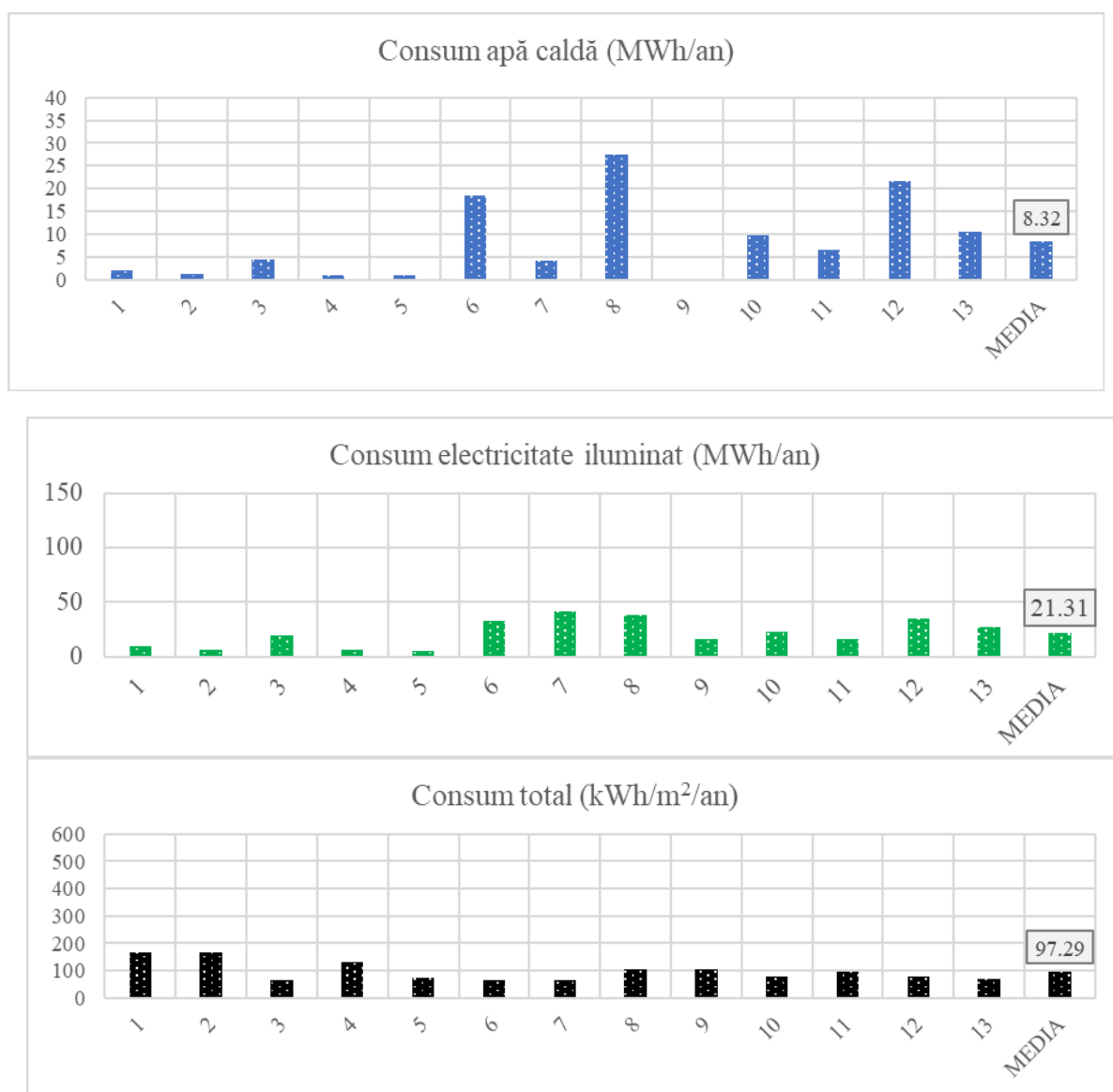


Figura 2. Consumuri energetice pentru cele 13 clădiri studiate după reabilitarea termică - calcule teoretice

În tabelul 2 sunt prezentate economiile de energie realizate pentru fiecare școală după implementarea măsurilor de eficientizare energetică. Pentru încălzire avem valori între 37% și chiar 89% explicabile astfel: reduceri mici s-au calculat acolo unde școlile aveau deja implementate anumite soluții (prezența ferestrelor cu $R > 0,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ sau înlocuirea deja a centralei termice) și economii importante acolo unde școala era degradată sever (tencuiala căzută, tâmplărie de lemn, infiltrații importante, consum excesiv de combustibil datorită randamentului foarte scăzut – sub 60% a surselor de căldură). Pentru apa caldă media economiei de energie se regăsește în jurul valorii de 16%. Avantajele implementării corpurilor de iluminat cu LED le regăsim imediat astfel că economiile datorate lor sunt de peste 40% timpul de recuperare al investiției fiind sub 5 ani. La școlile unde au fost propuse sisteme fotovoltaice reducerea

consumului crește până la 66%. În medie pentru cele 13 școli avem o reducere de 46%. Per total eficientizarea energetică a avut un impact pozitiv și care se dorea astfel ca media economiei de energie totală este peste 60%.

Tabelul 2

Economiile de energie realizate prin reabilitarea termică

Nr.	Economie energie încălzire (%)	Economie energie apă caldă (%)	Economie energie iluminat (%)	Economie energie total (%)
1	37.00	11.99	45.40	37.59
2	43.62	33.10	41.44	43.21
3	87.28	15.22	38.26	82.20
4	77.32	15.34	47.66	75.30
5	89.58	15.34	48.45	86.81
6	84.83	5.08	45.64	78.24
7	87.90	17.19	41.55	84.01
8	64.63	10.79	66.10	62.56
9	65.65	24.72	55.65	64.55
10	30.33	22.20	48.98	34.50
11	28.49	11.72	39.64	30.01
12	75.07	15.27	47.31	68.76
13	82.45	11.77	39.16	75.66
MEDIA	65.70	16.13	46.56	63.34

În tabelul 3 sunt prezentate reducerile emisiilor de CO₂ realizate prin implementarea măsurilor de eficiență energetică. S-au folosit factorii de conversie din energie finală în energie primară și mai departe coeficienții de conversie în kgCO₂/kWh energie primară.

Tabelul 3

Reducerea emisiilor de CO₂ realizate prin reabilitarea termică

Nr.	Emisii CO ₂ (kgCO ₂ /an) înainte	Emisii CO ₂ (kgCO ₂ /m ² /an) înainte	Emisii CO ₂ (kgCO ₂ /an) după reabilitare	Emisii CO ₂ (kgCO ₂ /m ² /an) după reabilitare
1	16267.58	28.97	10864.13	4.55
2	10583.34	29.54	7282.678	4.06
3	31271.08	31.22	16886.38	3.33
4	14301.31	34.70	7247.084	6.46
5	10951.49	35.18	4643.314	4.14
6	57241.82	29.75	28847.83	1.48
7	73331.72	32.02	36949.25	7.28
8	99535.56	38.73	38591.31	1.25
9	35575.89	29.65	17464.82	52.59
10	65497.33	46.00	39428.42	3.20
11	43768.19	49.35	29193.98	3.96
12	164966.2	76.59	59331.12	2.32
13	123094.8	84.41	38932.08	3.30
MEDIA	57414.34	42.01	25820.18	7.53

4. Concluzii

Implementarea măsurilor de eficiență energetică în școlile din România are mai multe aspecte pozitive:

- ✓ Directorii școlilor ar beneficia de costuri reduse și medii de învățare îmbunătățite.
- ✓ Personalul și elevii ar studia într-un mediu îmbunătățit și performanțele intelectuale s-ar ameliora
- ✓ Mediul ar beneficia, de asemenea, de reducerea consumului de energie și emisiile de carbon ar fi reduse
- ✓ Școala va beneficia de o imagine

Pe lângă economia de energie realizată prin reabilitarea clădirii, cel mai important aspect îl reprezintă reducerea emisiilor de CO₂. Astfel, după aplicarea metodelor de eficientizare energetică, având în vedere că în România avem 17,4 milioane de m² aferente clădirilor educaționale prin aplicarea măsurilor de reabilitare se va obține o reducere semnificativă a consumului de energie și implicit a emisiilor de CO₂ la nivel național.

Dacă am realiza un calcul rapid la scară națională plecând de la valoarea prezentată de Institutul European pentru Performanța Clădirilor (BPIE) că avem o suprafață de 17,4 milioane de m² aferente școlilor și considerând valoarea medie de 315 kWh/m²/an avem un consum total de 5 481 000 MWh/an. Din punct de vedere al emisiilor pe baza unei medii de 42 kgCO₂/m² vom avea 730 800 tone CO₂/an. Prin reabilitarea completă a celor 17,4 milioane de m² am reduce consumul energetic la 1 687 800 MWh/an și emisiile la 131 022 tone CO₂/an. Din [8] știm că 74% dintre școli folosesc încălzire cu lemne și restul de 26% gazele naturale. Astfel din consumul total de 5 481 000 MWh/an (valoare care presupune că nici o școală nu este renovată termic) vom avea 3 447 549 MWh/an a fi acoperiți cu combustibili solizi și 2 551 186 MWh/an a fi acoperiți cu gaze naturale pentru încălzire/apă caldă iar restul de 822 150 MWh/an pentru iluminat. La un cost mediu de 0,5 RON/kg lemn clasic și o putere calorifică medie de 4,46 kWh/kg (depinde de tipul de lemn și gradul de umiditate) vom avea un cost de aprox. 0,024 €/kWh. Pentru electricitate și gaze putem presupune în prezent un cost de 0,128 €/kWh (electricitate) și 0,026 €/kWh (gaze naturale). Prin urmare pentru tot parcul de clădiri educaționale nereabilite avem costuri de 82 mil.€/an pentru școlile încălzite cu lemne clasice, 66 mil. €/an pentru școlile încălzite cu gaze naturale și 105 mil. €/an pentru iluminat. Dacă toate clădirile ar fi reabilite costurile s-ar reduce semnificativ astfel am avea nevoie de 29 mil.€/an pentru școlile încălzite cu peleți (presupunând ca vor face toate tranziția de la lemne la peleți), 20 mil.€/an pentru școlile încălzite cu gaze naturale și 32 mil. €/an pentru iluminat. Deci costurile totale vor fi reduse de la 253 mil.€/an la 81 mil.€/an adică o reducere de 67% sau o economie de 172 mil.€/an. Din analiza școlilor deja reabilite termic am constatat costuri de investiție de 900-1400 €/persoană. Potrivit Institutului Național de Statistică avem în anul universitar 2016-2017 un număr de 3 597 300 elevi și studenți astfel costurile de reabilitare termică pentru toate clădirile se vor situa între 3237 mil. € și 50362 mil. € astfel investiția se va amortiza între 18 și 29 ani.

Din [6] am obținut tabelul 4 care clasifică gradul de renovare în patru mari categorii și prezintă costurile de eficientizare energetică. La un grad de renovare mare avem

costuri de 200 €/m² adică un total de 3480 mil.€/an similar cu valoarea estimată de noi (3237 mil. €) iar pentru o renovare de tip NZEB (panouri solare, etc) costurile totale se ridică la 6090 mil. €.

Tabelul 4

Costuri pentru renovarea clădirilor

Grad de renovare	Costuri în prezent (€/m ²)	Costuri în anul 2050 (€/m ²)	Economie de energie (kWh/m ² /an)	Performanța finală (kWh/m ² /an)
Renovare Minoră - 15%	25	21	32	179
Renovare Medie - 45%	90	63	95	116
Renovare Mare - 75%	200	97	158	53
Renovare NZEB (Nearly Zero Energy Building) – 95%	350	117	200	11

5. Mulțumiri

Acest articol a fost sprijinit de proiectul ID P_37_229, SMIS 103427, Contract Nr. 22/01.09.2016, cu titlul „Smart Systems for Public Safety through Control and Mitigation of Residential Radon linked with Energy Efficiency Optimization of Buildings in Romanian Major Urban Agglomerations SMART-RAD- EN” sprijinit de Programul Operational Competitivitate 2014-2020, POC-A.1- A.1.1.4 -E- 2015 competitie.

Referințe

- [1] Evelina GRADINARU, Lorant BUCS, Gabriel BRĂTUCU, Statistical analysis regarding energy supply and demand in the EU and Romania between 1990 and 2014, Bulletin of the Transilvania University of Braşov, Series V: Economic Sciences • Vol. 9 (58) No. 1 – 2016
- [2] Soim Horatiu, UVVG Arad, Education and energy efficiency 2008 in Romanian schools / Intelligent Energy Europe contract n.IEE/07/710/SI2.499412 - https://www.umweltschulen.de/download/20100308_energy_efficiency_in_romanian_schools.pdf
- [3] I. BOROS, T. NAGY-GYÖRGY, D. DAN, ENERGY EFFICIENT SCHOOL BUILDING CONCEPT AND CONSTRUCTIVE SOLUTIONS, Int. Rev. Appl. Sci. Eng. 6 (2015) 2, 101–110, DOI: 10.1556/1848.2015.6.2.4
- [4] BPIE(2012). Implementing nearly Zero-Energy Buildings in Romania. Towards a definition and roadmap, ISBN: 9789491143045, Brussels 2012. Available at www.bpie.eu
- [5] Bertoli, P. and Atanasiu, B.: Electricity Consumption and Efficiency Trends in the En-larged European Union – Status Report 2006. European Commission: DG Joint Re-search Centre 2007.
- [6] Dan Staniaszek Renovating Romania, A Strategy for the energy Renovation of Romania's Building Stock, Buildings Performance Institute Europe BPIE
- [7] Institutul European pentru Performanța Clădirilor (BPIE), Bogdan Atanasiu (BPIE), Implementarea clădirilor cu consum de energie aproape zero (nzeb) în românia definire și foaie de parcurs, http://bpie.eu/wp-content/uploads/2015/10/Full_Report_nZEB-Romania.pdf
- [8] PHARE ENERGY PROJECTS IN ROMANIA, Decembrie 1999, http://www.minind.ro/domenii_sectoare/energy.pdf

- [9] Santamouris, M., G. Mihalakakou, P. Patargias, N. Gaitani, K. Sfakianaki, and M. Papaglastra. "Using intelligent clustering techniques to classify the energy performance of school buildings." *Energy and Buildings*, 2007: 45-51.
- [10] Santamouris, M., C.A Balaras, E. Dascalki, A. Argirious, and A. Gaglia. "Energy consumption and the potential for energy conservation in school buildings in Hellas." *Energy* 19 (June 6), 1994 : 653-660.
- [11] Dimoudi, A., and P. Kostarela. "Energy monitoring and conservation potential in school buildings in the C climatic zone of Greece." *Renewable Energy* 34, 2009: 289-296.
- [12] Theodosiou, T.G., and K.T. Ordoumpozanis. "Energy, comfort and indoor air quality in nursery and elementary school buildings in the cold climatic zone of Greece." *Energy and Buildings* 40, 2008: 2207-2214.
- [13] Becker, R., I. Goldberger, and M. Paciuk. "Improving energy performance of school buildings while ensuring indoor air quality ventilation." *Building and Environment* 42, 2007: 3261-3276 (September Pages).
- [14] Becker, Rachel, Itamar Goldberger, and Monica Paciuk. "Improving energy performance of school buildings while ensuring indoor air quality ventilation." *Building and Environment*, 2006: 3261–3276.
- [15] Zhu, Y. "Applying computer-based simulation to energy auditing: a case study." *Energy and Buildings* 38 (2006): 421-428.
- [16] Westergren, K, H Hogberg, and U Norlen. "Monitoring energy in single family houses." *Energy and buildings* 29 (1999): 247-257.
- [17] Hernandez, P, K Burke, and J.O Lewis. "Development of energy performance benchmarks and building energy ratings for non-domestic buildings: and example of Irish primary Schools." *Energy and Buildings* 40 (2008): 249-254.
- [18] Desideri, U, and S Proietti. "Analysis of energy consumption in the high schools of a province in central Italy." *Energy and Buildings* 34 (2002): 1003-1016.
- [19] Perez-Lombard, L, J Ortiz, and C Pout. "A review on buildings energy consumption information." *Energy and Buildings* 40 (2008): 394-398.

Particularități legate de refrigerarea bananelor în mijloace de transport mobile utilizând freon R449A

Particularities relating bananas refrigeration in mobile transport means using freon R449A

Lector.dr.ing. Răzvan CALOTĂ¹, ing. Andrei LUPU²

¹U.T.C.B, Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, blvd. Pache Protopopescu, nr.66, sector 2, București, Romania
e-mail: razvan.calota@gmail.com

Rezumat. Refrigerarea legumelor și fructelor se realizează pentru a prelungi termenul de consum al acestora, sau pe o durată de timp înainte de declanșării controlate a procesului de coacere, urmat de punerea produselor pe piața de consum.

Dacă procesele metabolice ale acestora (respectiv respirația) sunt majore, atunci refrigerarea se va realiza într-un mod accelerat. Temperatura de transport a bananelor trebuie păstrată între $13\div 14^{\circ}\text{C}$ deoarece la această temperatură acestea își închid porii și nu se mai pot coace pe cale naturală pe durata transportului.

Articolul prezintă o metodă de determinare a sarcinii frigorifice a instalației de refrigerare pentru un container destinat refrigerării bananelor, funcționând cu agent frigorific cu impact scăzut asupra mediului, R449A.

Cuvinte cheie: instalație de răcire, banane, agent ecologic

Abstract. Refrigeration of vegetables and fruits is done to extend their consumption period, or for a period of time before the controlled ripening process, followed by putting products on the consumer market.

If their metabolic processes (respiration) are major, then refrigeration will be done in an accelerated manner. The banana transport temperature should be kept between $13-14^{\circ}\text{C}$ because at this temperature bananas close their pores and the process of ripening can no longer take place naturally during transport.

The article presents a method for determining the refrigeration load of the refrigeration plant for a banana refrigeration container operating with a low environmental impact refrigerant, R449A.

Keywords: refrigeration plant, bananas, ecological refrigeration agent

1. Introducere

Lanțul de gestionare a bananelor din momentul recoltării până la punerea lor în vânzare este prezentat în Figura 1.

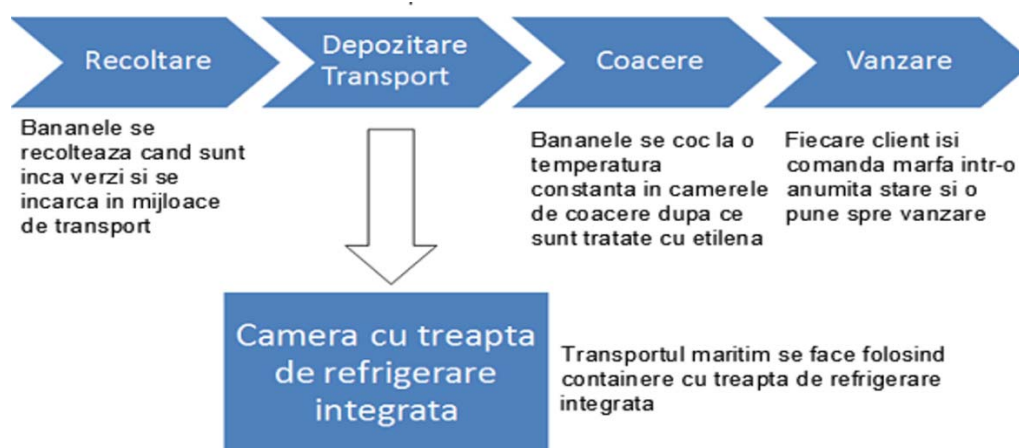


Fig.1 Etapele de prelucrare a bananelor de la recoltare la vanzare

Bananele sunt fructe care-și au originea în India, producția lor în masă având originile în jurul anului 1880. Bananele sunt recoltate în momentul în care ating un anumit punct de dezvoltare, dar când sunt încă necoapte, având coaja verde închis și miezul tare și necomestibil. Fiecare bananier dezvoltă în jur de 50-150 de banane concentrate într-un ciorchine care este recoltat și mai apoi porționat în unități ce pot fi comercializate pe piață.

Ambalarea se realizează în cutii ce urmează să fie încărcate în vase de transport cu capacitatea de a refrigera produsele. *Temperatura de transport ce se realizează prin refrigerare, trebuie păstrată între 13÷14°C deoarece la această temperatură bananele își închid porii și nu se mai pot coace pe cale naturală pe durata transportului.* Umiditatea trebuie menținută atât în camera de refrigerare cât și în camera de coacere la un nivel ridicat situat între 90% și 95%.

Evitarea oricăror imperfecțiuni și deteriorări se poate realiza cu ușurință prin menținerea temperaturii și umidității recomandate pe tot parcursul manipulării și stocării bananelor. Mucegaiul este reprezentat de puncte negre pe coaja bananelor coapte, care pot acapara întreaga suprafață a bananei. Livrarea către punctele de consum trebuie să se realizeze înainte de apariția naturală a acestui fenomen la nivelul cojii fructelor. O depozitare în frigider la temperaturi de 4÷6°C, deci sub temperatura normală de refrigerare, duce de asemenea la înnegrirea rapidă a cojii acestora.

E important de reținut că *fenomenul de coacere a bananelor nu mai poate fi stopat din momentul în care a fost declanșat*, chiar dacă sunt reintroduse la temperaturi de 13.5°C. Coacerea fructelor este declanșată în camerele special destinate acestei operațiuni de către introducerea prin intermediul unor cilindri a etilenei.

2. Prezentarea containerelor de transport cu treaptă de refrigerare integrată

Containerele sunt realizate astfel încât să poată fi utilizate la temperaturi începând de la -45°C și până la 50°C , sistemele electronice trebuie să reziste la umiditate ridicată, iar pereții containerului trebuie să aibă rezistențe mecanice sporite. Containerele pot fi *cu treaptă de refrigerare integrată sau cu unitate externă mobilă de răcire*. Cele cu treaptă de refrigerare integrată au propriul sistem atașat alimentat de o sursă trifazată, iar celelalte se bazează pe sistemele de răcire puse la dispoziție pe vasele de transport. În prezent sunt folosite preponderent *containere cu treaptă integrală de refrigerare*.

Circulația aerului răcit se realizează prin introducerea acestuia prin partea inferioară a containerului și evacuarea acestuia pe la partea superioară. Ventilatoarele asigură circulația forțată a aerului prin vaporizatorul instalației frigorifice iar apoi reintroduc aerul răcit în incintă. (Figura 2). În cazul transportului de fructe precum bananele trebuie asigurată circulația aerului printre cutiile de fructe întrucât acestea au o caldură de respirație semnificativă ce trebuie disipată.

Se asigură un număr de aproximativ 20÷40 de schimburi orare de aer, cu scopul de a evacua degajările de CO_2 , diferența de presiune între admisie și refulare fiind de aproximativ 120-250 Pa. Aerul este introdus și evacuat prin orificii de secțiune variabilă, dispuse în ușa containerului.

În momentul în care se detectează o diferență de temperatură între valoarea cerută și cea din incintă, instalația frigorifică va porni, ventilatoarele introducând aer răcit în container. *După atingerea valorii nominale a temperaturii din cameră, ventilatoarele vor continua să vehiculeze aer dar instalația frigorifică se va opri.*

Panourile termoizolante de tip sandviș sunt concepute astfel încât să satisfacă cerințele de izolare termică. Panourile sunt realizate în general din foi de tablă zincată, între care se găsește un strat interior realizat fie din spuma din poliuretan PUR sau poliizocianurat PIR, cu un coeficient scăzut de conductivitate termică, limitând astfel la maxim pătrunderile de căldură din mediul exterior.

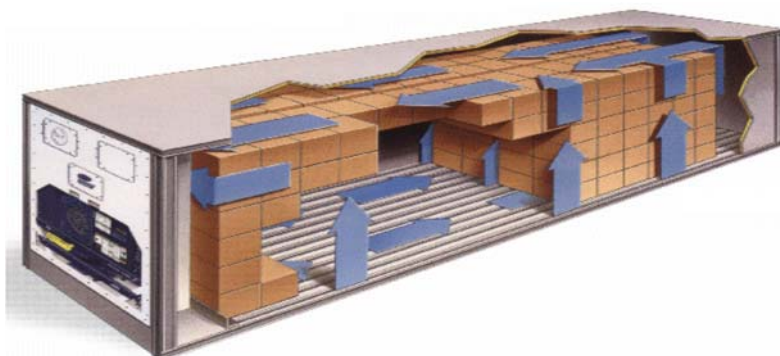


Fig. 2 Circulația aerului în interiorul unui container cu treaptă de refrigerare integrată

Prinderea mecanică dintre panouri oferă procesului de montaj precizie ridicată, iar garnitura de etanșare ajută la asigurarea izolării termice și etanșeizarea îmbinării. Garniturile de etanșare sunt utilizate la etanșarea spațiilor libere situate la capetele panourilor sandviș și la extremitățile inferioare și superioare ale acestora.

3. Instalație frigorifică pentru realizarea refrigerării

Pentru refrigerarea bananelor se folosește o instalație frigorifică cu freon R449A într-o treaptă de comprimare. (Figura 3)

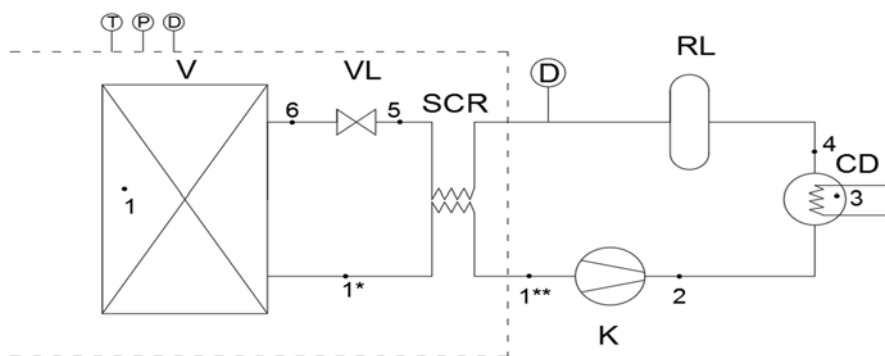


Figura 3. Legendă: *V*-vaporizator; *SCR*-schimbător de căldură regenerativ; *K*-compresor; *CD*-condensator; *VL*-ventil de laminare termostatic; *RL*-rezervor de lichid; *D*-debitmetru; *T*-termostat; *P*-presostat.

Procesele care au loc în instalație sunt următoarele:

1-1*: supraîncălzirea izobară a vaporilor în vaporizator ($p=ct.$); 2-1**: supraîncălzirea izobară a vaporilor în SCR ($p=ct.$); 1*-2: comprimare adiabatică reversibilă ($s=ct.$); 2-3: răcirea izobară a vaporilor ($p=ct.$); 3-4: condensarea ($p, t=ct.$); 4-5: subrăcirea izobară a lichidului ($p=ct.$); 5-6: laminarea ($h=ct.$); 6-1: vaporizarea ($p, t=ct.$);

Datele de intrare sunt reprezentate de sarcina frigorifică, prezentată în capitolul următor și de temperaturile de vaporizare și condensare pentru freonul utilizat. Pentru alegerea temperaturii de condensare se porneste de la o valoare maximă a temperaturii aerului din mediul exterior de 35°C . Aerul preia caldura latentă de condensare și se încălzește cu un $\Delta t_{\max}$ de 5°C . Pentru a prelua caldura de la agentul frigorific între temperatura maximă a aerului de răcire și temperatura de condensare trebuie să existe o diferență Δt_c considerată 4°C . *A rezultat temperatura de condensare de 43°C .*

Pentru a menține o temperatură la nivelul fructelor de $13,5^{\circ}\text{C}$ aerul este răcit până la 7°C , la contactul cu suprafața vaporizatorului, cedând caldura necesară vaporizării agentului frigorific. Între temperatura minimă a aerului și temperatura de vaporizare trebuie să existe o diferență Δt_0 considerată 5°C . *A rezultat temperatura de vaporizare de 2°C .*

Agentul frigorific Opteon XP 40 cunoscut și ca R449A are proprietatea de a avea un coeficient ODP nul și un potențial de încălzire globală GWP redus, de valoare 1282. Acesta este prezentat ca un înlocuitor pentru agenții R404a, R507 și R407A atât în cazul echipamentelor frigorifice noi cât și în cazul celor aflate deja în exploatare. ASHRAE consemnează agentul frigorific R449A cu gradul A1 de siguranță în exploatare, oferind atât siguranță pe partea de mediu cât și avantajul siguranței la incendiu.

4. Calculul necesarului de frig

Se determină necesarul de frig pentru un container de transport pentru banane având dimensiunile 12x2,5x2,2 m, respectiv un volum de 66 m³ (dimensiuni ale unui container standard). Pentru realizarea mersului de calcul au fost cumulate informații din: normativul SR-EN 16440-1/2016 [1], ASHRAE Fundamentals [2] și Container Handbook [3].

Necesarul de frig are 4 componente: *fluxul termic infiltrat prin pereții containerului din mediul exterior prin conducție; fluxul termic degajat prin respirația fructelor; fluxul termic degajat în funcționarea ventilatoarelor; fluxul termic necesar răcirii aerului proaspăt introdus din exterior.*

$$\dot{Q}_{TOT} = \dot{Q}_{inf.} + \dot{Q}_{resp.} + \dot{Q}_{vent.} + \dot{Q}_{aer pr.} \quad (1)$$

- Flux de căldură patruns din exterior prin suprafețele pereților care delimitează incinta:

$$\dot{Q}_{inf.} = k \cdot S \cdot \Delta t_{cd+rad} \quad (2)$$

Conform datelor furnizate de producătorii de panouri termoizolante, $k = 0,26 \frac{W}{m^2K}$ corespunzător unui panou de tip sandviș de grosime 80 mm, cu izolație din spumă poliuretanică (PUR).

$S [m^2]$ este suprafața pereților ce rezultă din dimensiunile standard ale unui container de transport cu treaptă de refrigerare integrată: $L=12 m$, $l=2,5 m$, $h=2,2 m$. Rezultă, $S= 123,8 m^2$.

$\Delta t_{cd+rad} [^{\circ}C]$, reprezintă diferența de temperatură de pe fețele pereților, cu un aport suplimentar asupra temperaturii pe fața exterioară, cauzat de influența radiației solare. $\Delta t_{cd+rad} = 26,5^{\circ}C$. Rezultă:

$$\dot{Q}_{inf.} = k \cdot S \cdot \Delta t_{cd+rad} = 0,26 \cdot 123,8 \cdot 26,5 = 853 W$$

- Flux de căldură degajat de ventilatoare

Vaporizatorul având 2 ventilatoare cu un consum estimat de 250 W fiecare, rezultă:

$$\dot{Q}_{vent.} = 2 \cdot 250 = 500 \text{ W} \quad (3)$$

- Flux de căldură degajat de procesul de respirație a bananelor

Valoarea se extrage din tabele de valori ale respirației diferitelor tipuri de fructe și legume, din cărțile de specialitate, [5]:

$$\dot{Q}_{resp.} = 10700 \frac{\text{kJ}}{\text{tone} \cdot 24\text{h}} = \frac{10700}{1000 \cdot 24 \cdot 3600} \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{s}} \cdot m_{banane} \cdot 1000 = 14250 \cdot 0.00012 = 1765 \text{ W} \quad (4)$$

- Flux de căldură introdus de aerul proaspăt din exterior

Ventilarea incintei se asigură printr-un număr de schimburi de aer.

$$\dot{Q}_{aer pr.} = V \cdot a \cdot \rho_{aer} \cdot (h_{ex} - h_i) \left[\frac{\text{kJ}}{24\text{h}} \right] \quad (5)$$

Unde: -V [m³] volumul incintei; a- numărul de schimburi de aer în 24h;

$$\dot{Q}_{aer pr.} = 66 \cdot 20 \cdot 1,2 \cdot (35,4 - 13,5) = 52509,6 \frac{\text{kJ}}{24\text{h}} = 401 \text{ W}$$

Necesarul total de frig: 3519 W. Calculul a fost comparat cu datele de ieșire ale softului *Depozit* și a rezultat o eroare într- cele 2 metode de calcul de 1,4%. Softul *Depozit* a fost realizat de către o echipă de cadre universitare și studenți de la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca.

The screenshot shows the 'Depozit' software interface. It includes input fields for exterior temperature (34.5 °C), exterior humidity (60 %), and geometric dimensions (length 12 m, width 2.5 m, height 2.2 m). The 'Spatiul racit' section is configured for a refrigerated depot (Depozit pentru produse refrigerate) with green bananas (Banane verzi) at 13.5 °C, with a quantity of 14250 kg. The 'Spatiul vecin' sections are set to 'Exterior'. The 'Podea' (Floor) is set to 'Coridor spre exterior'. A 'Calcul' button is visible at the bottom right.

CENTRALIZAREA NECESARULUI DE FRIG			
Patrunderile de caldura prin pereti	103338.99 kJ / 24h	1.2 kW	Detalii...
Necesarul de frig tehnologic	148698.75 kJ / 24h	1.72 kW	Detalii...
Necesarul de frig pentru ventilare	6730.03 kJ / 24h	0.08 kW	Detalii...
Necesarul de frig pentru exploatare	41335.6 kJ / 24h	0.48 kW	
Necesarul total de frig 300103.36 kJ / 24h			
Puterea frigorifica totala 3.47 kW			Iesire

Fig.4. Date de intrare și ieșire în softul Depozit

5. Concluzii

În cadrul lucrării a fost prezentat mersul de calcul pentru determinarea necesarului de frig pentru un container mobil de refrigerare a bananelor, de 3519 W, valoare similară cu cea obținută în urma utilizării softului Depozit, destinat proceselor de refrigerare și congelare a legumelor și fructelor- eroare de aproximativ 1%.

Cunoscând temperaturile de vaporizare și condensare ale agentului R449A, determinate în cadrul materialului, putem utiliza *diagrama log p-h* aferentă acestuia, pentru determinarea ulterioară a debitului masic de agent frigorific (0,021 kg/s), puterii electrice necesare la compresor (929 W), fluxului termic cedat în condensator (4,43 kW) și eficienței instalației (3,77).

Din analiza acestor valori rezultă că agentul R449A prezintă avantaje precum presiuni de lucru mai scăzute, debit masic mai scăzut, coeficient GWP mai scăzut însă și dezavantaje, cum ar fi eficiență mai mică față de R404A.

5. Bibliografie

- [1] SR EN 16440-1/2016, Metode de încercare a echipamentelor de răcire pentru mijloace de transport izolate
- [2] ASHRAE Fundamentals Handbook, SI edition, 2009
- [3] Container Handbook by Winfried Strauch, 2018
- [4] Soft DEPOZIT, UT Cluj-Napoca, coord. Prof.dr.ing. Mugur BĂLAN
- [5] Lidia Nicolescu, Dumitru Mădularu- Conservarea alimentelor prin frig, Editura Didactică și Pedagogică, 1962
- [6] www.frigotherm.ro
- [7] www.pholod.com.ua
- [8] www.gazechim-froid.fr
- [9] www.chemours.com

Evaluarea eficienței nisipului dune ca adăugare minerală pentru a produce beton fibră ultra-performante

Assessing the effectiveness of dune sand as a mineral addition to produce ultra-high performance fiber reinforced concretes

Farida Ait Medjber¹, Mohammed Saidi¹, Brahim Safi^{1,*} and

Hamza Mechakra²

¹Research Unit: Materials, Processes and Environment (UR-MPE), University M'hamed Bougara of Bouverdes, 35000-Bouverdes, Algeria

E-mail: issam3009@gmail.com, mo.saidi@univ-bouverdes.dz, safi_b73@univ-bouverdes.dz

²Faculty of Engineering Science University M'hamed Bougara of Bouverdes, 35000-Bouverdes, Algeria

E-mail: mechakra_h@univ-bouverdes.dz

Corresponding authors; Email: safi_b73@univ-bouverdes.dz

Rezumat. În scopul valorificării resurselor noastre naturale, în special a nisipului dunărean, au fost studiate dezvoltarea și caracterizarea forței de beton cu fibre de înaltă performanță pe bază de adaosuri minerale locale. Studiul experimental a fost realizat pe diferite betoane realizate din nisip dunătic fin măcinat și armate cu fibre metalice (la procente diferite) în comparație cu alte betoane fabricate cu materiale pe bază de ciment (pământ de silice și puzolan). Betoanele studiate au fost fabricate din ciment Portland (PC), nisip dune (DS), pozzolan (PZ), nisip fin (FS), fibre metalice (MF) și aditivi super plastifiant (SP). Rezultatele obținute arată posibilitatea obținerii unui beton din fibre mai performant având 34 MPa pentru tracțiune la încovoiere și 136 MPa pentru rezistența la compresie. Imaginile SEM ale betoanelor studiate au arătat efectul benefic al nisipului duză zdrobită asupra produselor de hidratare pe bază de ciment, oferind noi produse de hidratare din reacția pozzolanică dintre nisipul duză zdrobit și portlanditul (Ca (OH) 2) eliberat din hidratarea cimentului. Pentru fabricarea unui beton bazat pe materii prime locale care au caracteristici mecanice bune, poate duce la economisirea consumului de ciment.

Cuvinte cheie: Materii prime locale, nisip de dune, fibre de înaltă performanță (UHPFC), performanță mecanică și rezistență la compresie

Abstract. In order to valorize our natural resources especially dune sand, the strength development and characterization of ultra-high performance fiber concrete based on local mineral additions, have been studied in this present work. The experimental study was carried out on various concretes made from finely ground dune sand and reinforced with metal fibers (at different percentages) compared to others concretes manufactured with cementitious materials (silica fume and pozzolan). The studied concretes were made

from Portland cement (PC), dune sand (DS), pozzolan (PZ), fine sand (FS), metal fibers (MF) and super plasticizing admixture (SP). The results obtained show the possibility to producing a more performant fiber concrete having 34 MPa for flexural tensile and 136 MPa for compressive strength. SEM-images of studied concretes showed the beneficial effect of the crushed dune sand on cementitious hydration products giving of new hydration products from the pozzolanic reaction between crushed dune sand and portlandite (Ca(OH)_2) released from hydration of cement. To manufacture a concrete based on local raw materials having good mechanical characteristics, can lead to saving the consumption of cement.

Key words: Materii prime locale, nisip de dune, fibre de înaltă performanță (UHPFC), performanță mecanică și rezistență la compresie

1. Introduction

In Algerian, the dune sand occupies about 6% of Sahara area and which covers about a third of the African continent [1-5]. Dune sand is known a product of the slow disintegration of rocks by erosion agents such as air, rain and so, etc. Several investigation have already confirmed that dune sand have a pozzolanic reactivity and can be used as a supplementary cementitious material to manufactured cement mortars of concretes [4-9]. However, research conducted to date are few and do not assess performances of concrete with this mineral type which it is a key issue for again further research on this. It could cite many researches on the use of dune sand in cement mortars/concretes [10-12].

However, the technological evolution of the concretes has made it possible to develop new concretes more efficient and having high mechanical characteristics so called Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concretes (UHPC) [8-9]. Nevertheless, from a practical point of view of formulation of these concretes requires adequate components and a good mastery of composition parameters such as the W /C ratio, the binder mixture, etc. Because this binder ratio must be lower in order to achieve the best mechanical performances. That's why researchers continue to find others adding for to substitute totally the silica fume in the UHPC composition to make it less expensive material [12-15]. Work investigates have also been carried out on the use of pozzolanic additions in UHPFRC, in order to obtain high performance mechanical concretes. It can be cited the dune sands and they are one of the supplementary cementitious materials known by characteristics that allow it to be used in new concrete. A very detailed study was previously carried on the valuation of sand dunes in the formulation of UHPFRC [10-11]. The results showed that the sand may have a pozzolanic addition character and can be used in the formulation of the concrete without disrupting performance.

For this purpose, the work aim is to evaluate potential of the sand dune as a supplementary cementitious material (by total substitution of silica fume) in order to produce an ultra-high performance concrete (UHPC) with less expensive material. The experimental study was carried out on various concretes made from finely ground dune sand and reinforced with metal fibers (at different percentages) compared to others

concretes manufactured with cementitious materials (silica fume and pozzolan). The studied concretes were made from Portland cement (PC), dune sand (DS), pozzolan (PZ), fine sand (FS), metal fibers (MF) and super plasticizing admixture (SP).

2. Experimental Program

2.1. Used materials

Cement (PC): The cement used is CEM I 52.5 cement type; density of 3160 kg/m³ and Blaine surface of 4800cm²/g. The physical, chemical and mineralogical characteristics are given in Table 1, and are according to standard NF EN 197-1 standard.

Sand of dunes (SD): In this work sand dune finely ground up to a fineness of 4000cm²/g is used in substitution in cement on the one hand and as fine added in the formulation of concretes another part.

Natural pozzolana (PZ): Pozzolan was introduced in the composition of fibred concretes as fines in order to see the effect to fines on the mechanical performance of UHFC.

Fine sand (FS): For the sand, it was opted for quarry sand from the Bouzegza region sieved on 2 mm sieves, 76% of sand equivalent and an expansion of 23.3%.

Superplasticizer (SP): In order to reduce the W/B ratio and increase the fluidity of the concretes for ease of implementation while maintaining a high level of performance, it was used a super high temperature plasticizer Tempo12 type water reducer manufactured by Sika according to the standard EN934-2.

Metallic fibers (MF): The metal fibers are introduced to have better strengths and ductile behavior.

Table 1 Characteristics of cementitious materials

Minerals	Sand dune (SD)	CEM I 52.5 (CP)	Pozzolan (PZ)
Chemical composition			
SiO ₂	94.40	20.03	41.00
Al ₂ O ₃	2.23	5.07	14.58
Fe ₂ O ₃	0.33	3.43	10.83
CaO	0.45	62.43	11.08
MgO	0.06	1.64	4.22
SO ₃	0.17	2.57	-
K ₂ O	1.13	0.59	-
Na ₂ O	0.36	0.04	-
P ₂ O ₅	0.01	0.15	-
TiO ₂	0.04	0.21	-
P.A.F	0.82	3.81	12.80
Mineralogical composition			
C ₃ S	-	62.89	-
C ₂ S	-	10.33	-
C ₃ A	-	7.64	-
C ₄ AF	-	10.43	-
Physical properties			
Specific mass (g/cm ³)	2.95	2.93	3.25
Specific surface (cm ² /g)	4000	4800	4004

Table 2 Characteristics of metal fibers

Properties	Metallic fibers
Length (mm)	30
Diameter (mm)	0.55
L/D	55
Density (g/cm ³)	8.38
Tensile strength (MPa)	1100

2.2. Methodology of work

The study was divided into two parts. Foremost, the work involves studying the effect of finely ground dune sand (5, 10, 15 and 20%.wt of cement) by replacement of cement on the rheological behavior of cementitious pastes used for studied concretes. In this case, the amount of used superplasticizer has been adjusted to ensure adequate fluidity and avoid segregation. Second work part was realized on the ultra-high performance concretes (UHPC) with an optimal percentage of finely ground dune sand substituted of cement by measuring the mechanical strength at 2, 7 and 28 days. Then, optimization of UHPFC at 0.2, 2, 3.5 and 5% metal fiber percentages of both UHPC1 and UHPC2 variants while measuring of mechanical strength also at 2, 7 and 28 days. After optimizing the percentage of sand substitution and fibers, the best variant was determined with the best mechanical properties at 28 days. Finally, non-destructive ultrasonic tests at 7, 14, 21 and 28 days were carried out on concretes with better results in order to verify the compactness provided by sand dune.

2.3. Test methods

Rheological tests: The rheological tests were carried out using a viscometer of VT550 type with a coaxial cylindrical geometry. The rheological measurements were carried out according to the following protocol (Firstly: a pre-shearing and ramping shear rate at 350s⁻¹ for 60s. Second step: maintaining a constant shear rate at 350s⁻¹ for 300s). All of the comments tested were prepared with a fixed superplasticizer dosage and a W/C ratio of 0.29 which is kept constant [12].

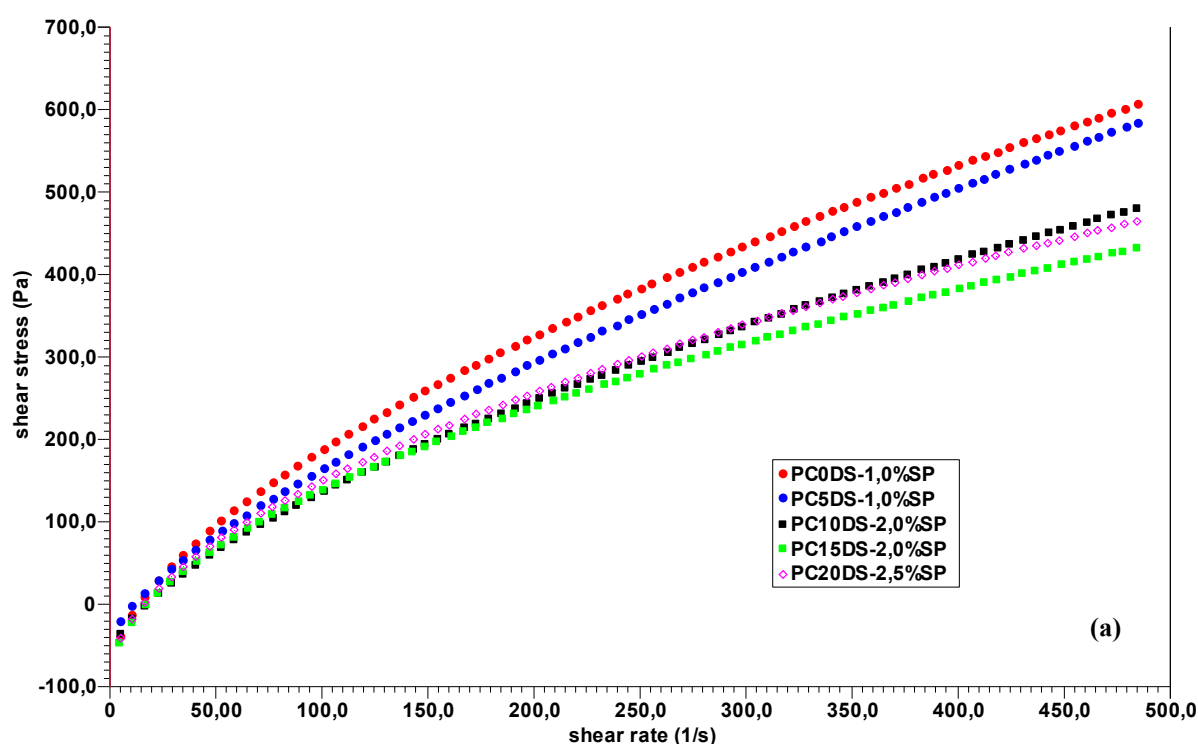
Mechanical tests: After mixing, for each mixture, specimens of 4×4×16 cm³ were prepared according to standard NF EN 196-1. The test specimens were demolded after 24 h and then cured in water. The compressive and flexural strengths of cement mortar specimens were tested at three different ages of 1, 7 and 28 days by using a uniaxial hydraulic compression machine under a load control rate of 0.20 MPa/s. Three-point bending tests were carried out on prismatic samples according to ASTM C348 [13]. Half samples were subjected to compressive stress by using a hydraulic press with a capacity of 3000 KN according to ASTM C349 [14].

3. Results and discussion

3.1. Rheological study

Figure 1a and 1b show the variation of viscosity and shear stress of studied cementitious pastes at different superplasticizer dosages as a function of shear rate. It is clearly observed that the more SP-dosage increases more the cementitious pastes become the fluids [15-17]. However, cement pastes having high fluidity are better for formulation of UHPC-concretes especially in presence of fiber. It was noted that more concrete is fluid more the addition of fibers is easy and is good their distribution in concrete matrix.

After having studied the rheological of cementitious pastes with various contents of superplasticizer in presence of crushed dune sand, it should be noted that SP effect is appreciable on the main rheological parameters (plastic viscosity and shear stress) of studied cement pastes. The results given in the rheograms show a non-Newtonian of cement pastes behavior which follows the Herschel- Bulkley model [15-17].



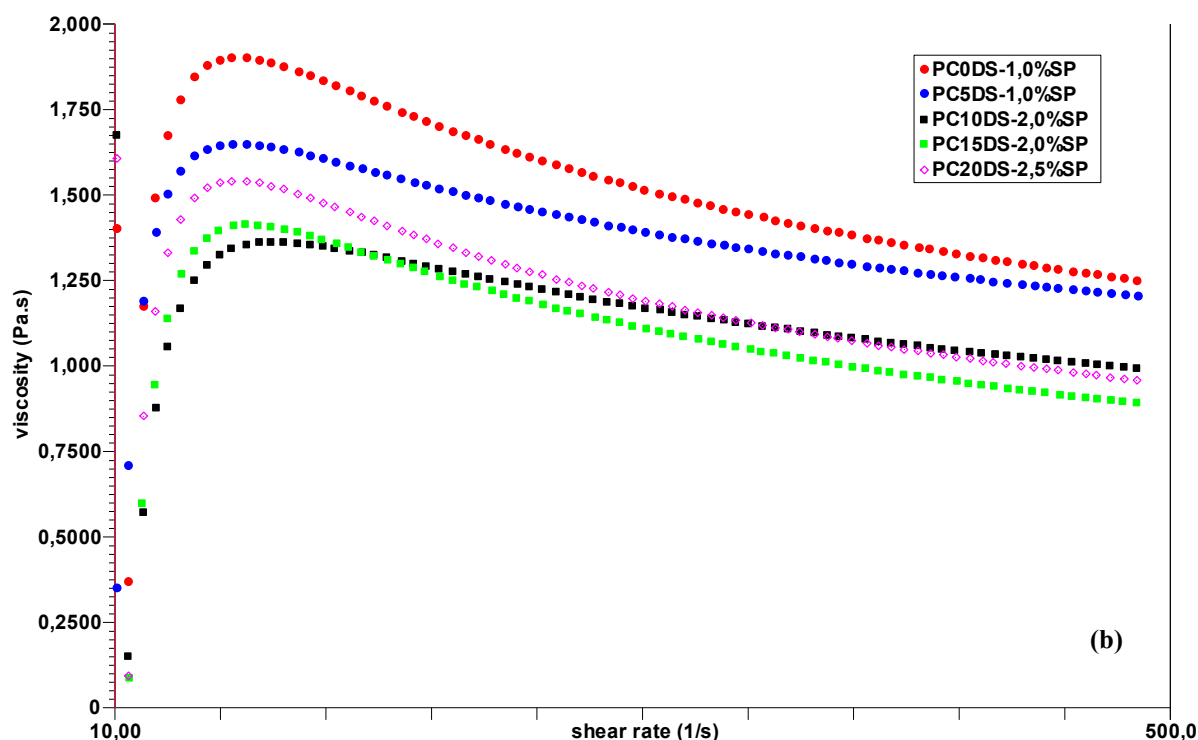


Figure 1 Shear stress (a) and viscosity (b) of cementitious pastes with different dosages of superplasticizer

With increasing of SP content a decrease of the viscosity and shear the stress was observed (figure). That can be explained by dispersing effect of SP which causes not only electrostatic effect but also steric repulsion between the cement particles by reducing their agglomeration thanks to the principal length of the superplasticizer chains as well as the grafting of the not adsorbed side chains. More SP content increases, more the cementitious pastes becomes more fluid having a Newtonian behavior, up to SP dosage. Beyond, superplasticizer does not effect on the cement pastes flow [16-17].

3.2. Effect of dune sand on the mechanical performances of UHPC

In this work part, ultra-high performance concretes (UHPC) with different percentage of finely crushed dune sand (DS) substituted of cement were elaborate. Table 3 gives the detail mixtures of studied concretes. Then mechanical strength has been measured at 2, 7 and 28 days in order to determine an optimal percentage of DS having a best mechanical strength.

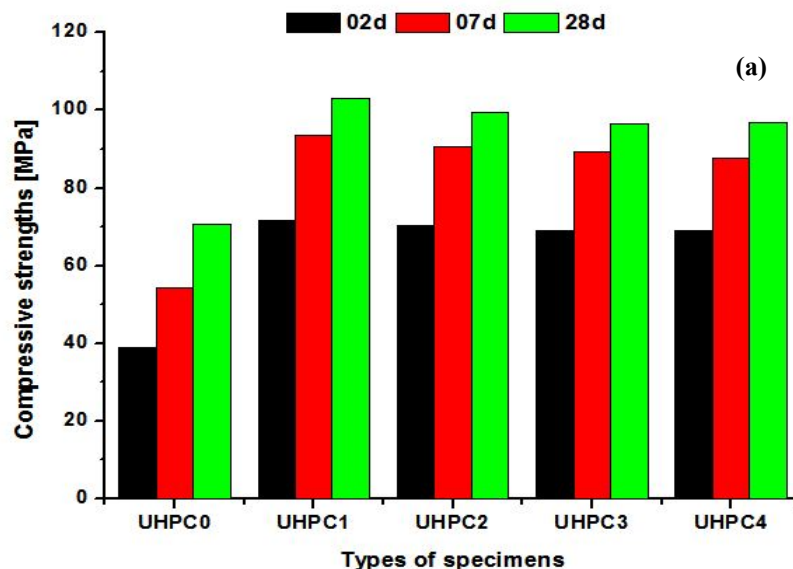
Table 3 Different compositions of ultra-high performance concretes (UHPC) with dune sand

Components	UHPC0	UHPC1	UHPC2	UHPC3	UHPC04
PC [Kg]	1000	950	900	850	800
SD [Kg]	148.8	148.8	148.8	148.8	148.8
SDS [Kg]	0	50	100	150	200
FS [Kg]	958	958	958	958	958
SP [Kg]	24.8	20.3	20.3	15	10
Water [Kg]	246.7	250.9	251.6	255.3	258.6
W/B	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23

Table 4 Compressive and flexural Strength of UHPC with various percentages of DS

	Compressive strength [MPa]			Flexural strength [MPa]			% increase Compressive strength 28d	% increase Flexural strength 28d
	2d	7d	28d	2d	7d	28d		
UHPC0	39,07	54,20	70,66	8,02	10,14	11,23	-	-
UHPC1	71,76	93,64	103	13,27	14,31	15,62	45,77	39,09
UHPC2	70,21	90,55	99,6	12,07	13,50	14,59	40,96	29,92
UHPC3	68,94	89,20	96,32	13,53	14,78	15,11	36,31	34,55
UHPC4	68,87	87,73	96,98	12,93	14,47	14,90	37,25	32,68

From the figure 2 and table 4, it is observed that concrete specimens (UHPC1) at 5% of dune sand by cement replacement, showed compressive strengths an average greater than that concrete control (UHPC0). Beyond this, all concretes have a higher compressive strength than the reference concrete whatever the hardening age. Control specimens had the lowest strengths at all ages [8-10, 18]. It was noted that same observations were obtained for the results of flexural strength of all studied concretes.



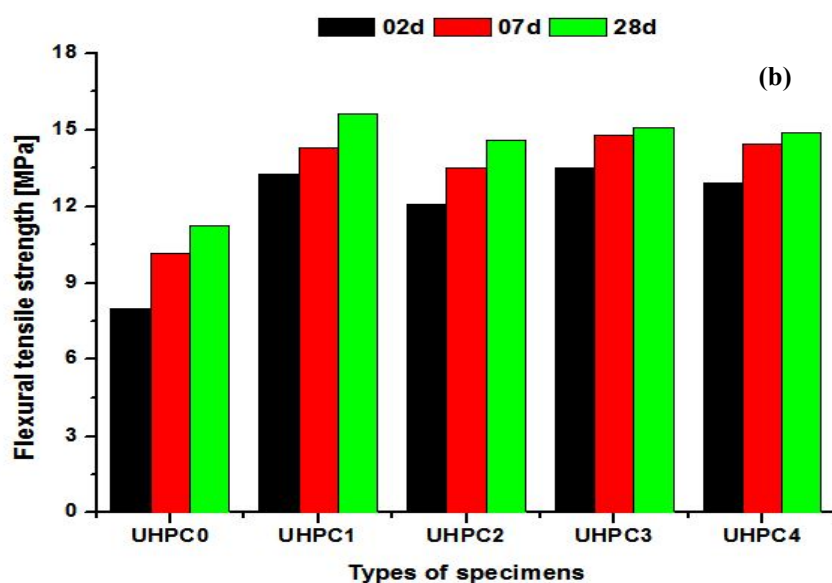
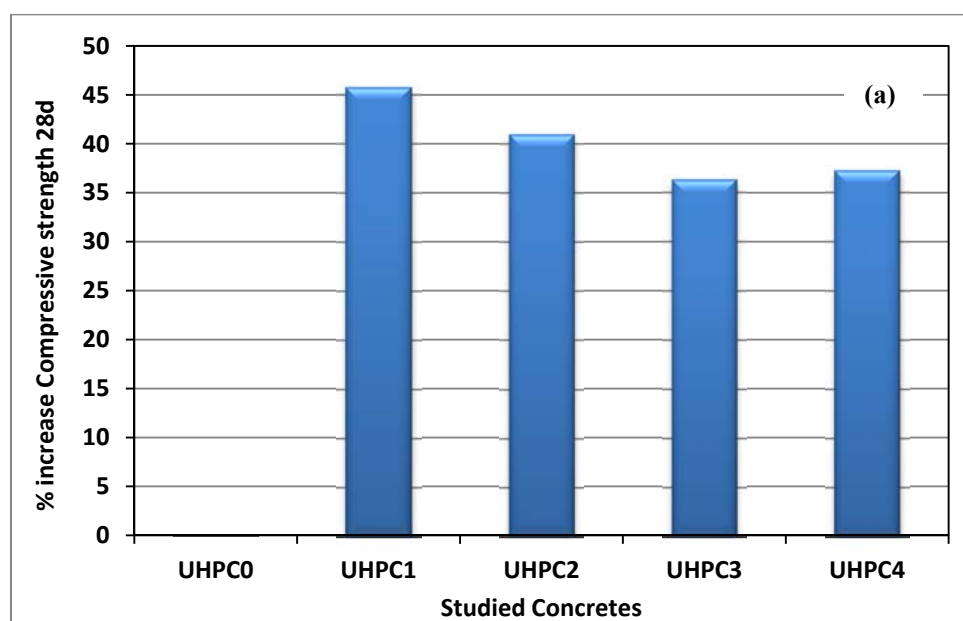


Figure 2 Compressive (a) and flexural (b) Strength of UHPC with various percentages of DS

In order to estimate the effect of dune sand on mechanical performances, improvement of compressive and flexural strength of studied concretes was given in figure 3 (a, b). Compared to control concrete UHPC0 (0 cement substitution), the average improvement is 35 at 45% for compressive strength (figure 3a) and 30 at 40% for flexural strength (figure 3b). This can be explained by the fact that the finely crushed of dune sand addition act on the hydration reactions by pozzolanic reaction of the previously well-dispersed cement grains with portlandit hydroxide, modifying their growth rates and their morphology [19-23].



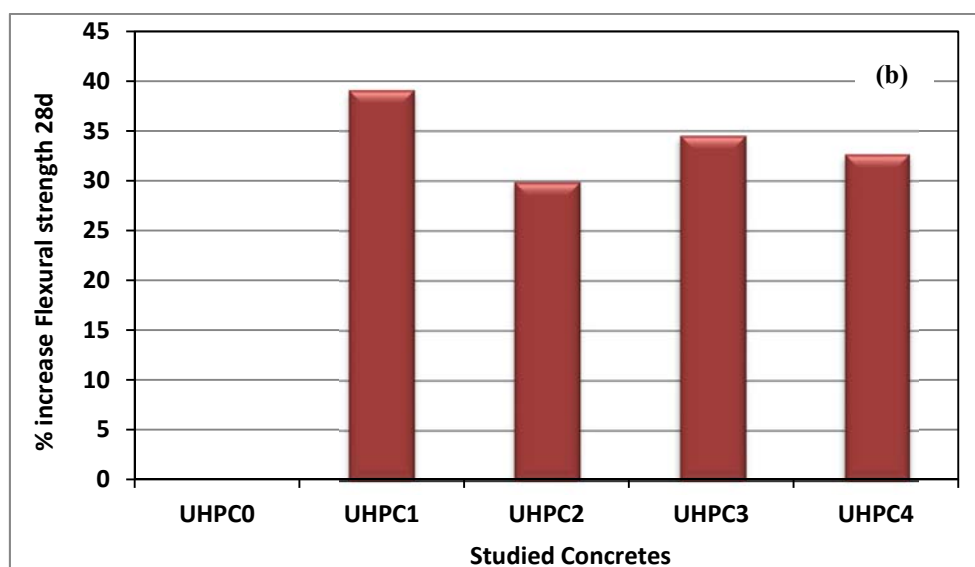


Figure 3 Improvement of the Compressive (a) and flexural (b) Strength of UHPC

Due to maneuverability, the addition of fibers occurs only in the first two UHPC1 and UHPC2 variants; UHPC3 and UHPC4 cannot accept fibers. To determine the amount of fiber needed for the various concretes, we proceeded to the percentage optimization of the fibers according to mechanical strength.

3.3. Effect of dune sand addition on reinforced fiber concretes

After estimating the role of dune sand as a pozzolanic material in formulation of high performance concretes, it is necessary to see effect this addition type in the presence of fibers. In this work part, the study was carried out on the Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFC) made by metal fibers in order to evaluate the use of dune sand as a mineral addition. For this, concrete formulations were taken from the previously study part. As reinforcement, metallic fibers was chosen and used at different content in volume fraction of concrete (0.2, 0.2, 2, 3.5 and 5%). Metallic Fibers are therefore added to UHP-concretes based on dune sand to enhance the ductility of the material, in both tension and compression [23-27]. The mixture detail of UHPF-concretes is given in table 5.

Table 5 Mixture details of ultra-high performance fiber reinforced concrete UHPFC in 1m³

Components	UHPFC1	UHPFC2
Cement PC [Kg]	950	900
Sand dune SD [Kg]	148.8	148.8
Crushed Sand dune CDS [Kg]	50	100
Fine Sand FS [Kg]	958	958
Metallic fibers (MF)* [%]	0,02	0,02
Superplasticizer SP [Kg]	20.3	20.3
Total water [Kg]	250.9	251.6
W/B	0.23	0.23

*fibers were introduced by fraction volume in %; 0.2, 2, 3.5 and 5%.

After measuring the compressive and flexural strength of studied concretes, the obtained results are given in table 6. Also, the gain and improvement (in %) of concrete strength are calculated and given in table 7.

Table 6 Compressive and flexural Strength of fiber reinforced concrete

	MF(%)	Compressive strength [MPa]			Flexural strength [MPa]		
		2d	7d	28d	2d	7d	28d
UHPFC1	0.2	77	93	104	13,50	14,10	15,11
	2.0	75	97	114	14,12	20,63	22,23
	3.5	77	105	125	13,88	25,66	30,27
	5.0	77	103	134	15,47	26,63	33,90
UHPFC2	0.2	80	92	105	14,65	14,77	15,17
	2.0	78	96	121	14,83	23,16	30,10
	3.5	77	100	126	14,80	25,68	32,53
	5.0	85	103	135	16,48	30,20	34,08

Table 7 % increase of Compressive and flexural Strength of UHPFC

	MF(%)	% increase Compressive strength 28d	% increase Flexural strength 28d
UHPFC1	0.2	-	-
	2.0	9,62	47,12
	3.5	20,19	100,33
	5.0	28,85	124,35
UHPFC2	0.2	-	-
	2.0	15,24	98,42
	3.5	20,00	114,44
	5.0	28,57	124,65

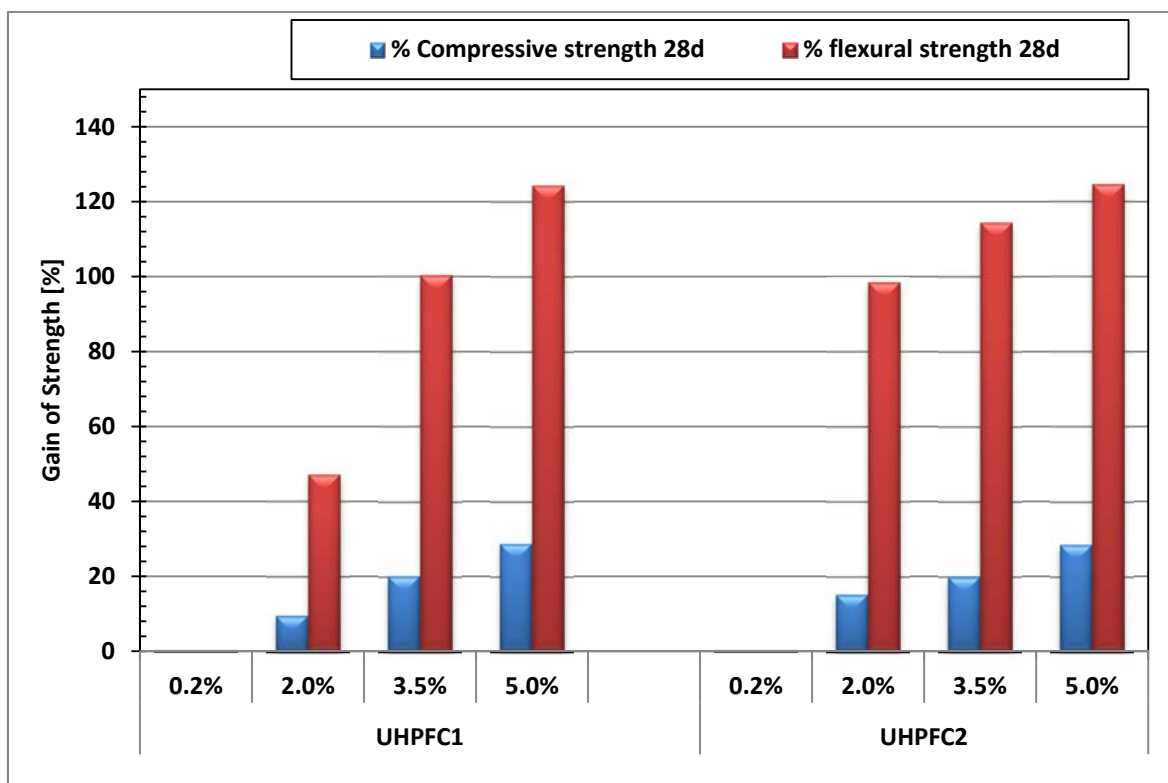


Figure 4 Gain of Compressive and flexural Strength of UHPFC

From the figure 4, it is observed that with increase in fiber percentage, the compressive force also increases with age. At the age of 7 days with 1.5 percentage fiber the compressive strength is 16.36 percent in excess over the strength of reference 17.49 percent in excess of reference mix [25-28]. As the metallic fiber is increased, the compressive strength decreases, but it's more than that control concrete can be seen from the Table 7.

3.4. Importance of dune sands as mineral addition

In order to compare the effectiveness of dune sand as a pozzolanic addition and its effect on the strength development of concrete, it was necessary to develop a concrete with the same composition based on natural pozzolan. It should be noted that the pozzolanic used in cases with the same finesse as used dune sand. It was proven that many studies have been shown the natural pozzolanic can be used as a supplementary material cementitious and can also improve mechanical properties of ultra-high performance concrete [29-32]. Obtained results were given in figure 5 (a, b).

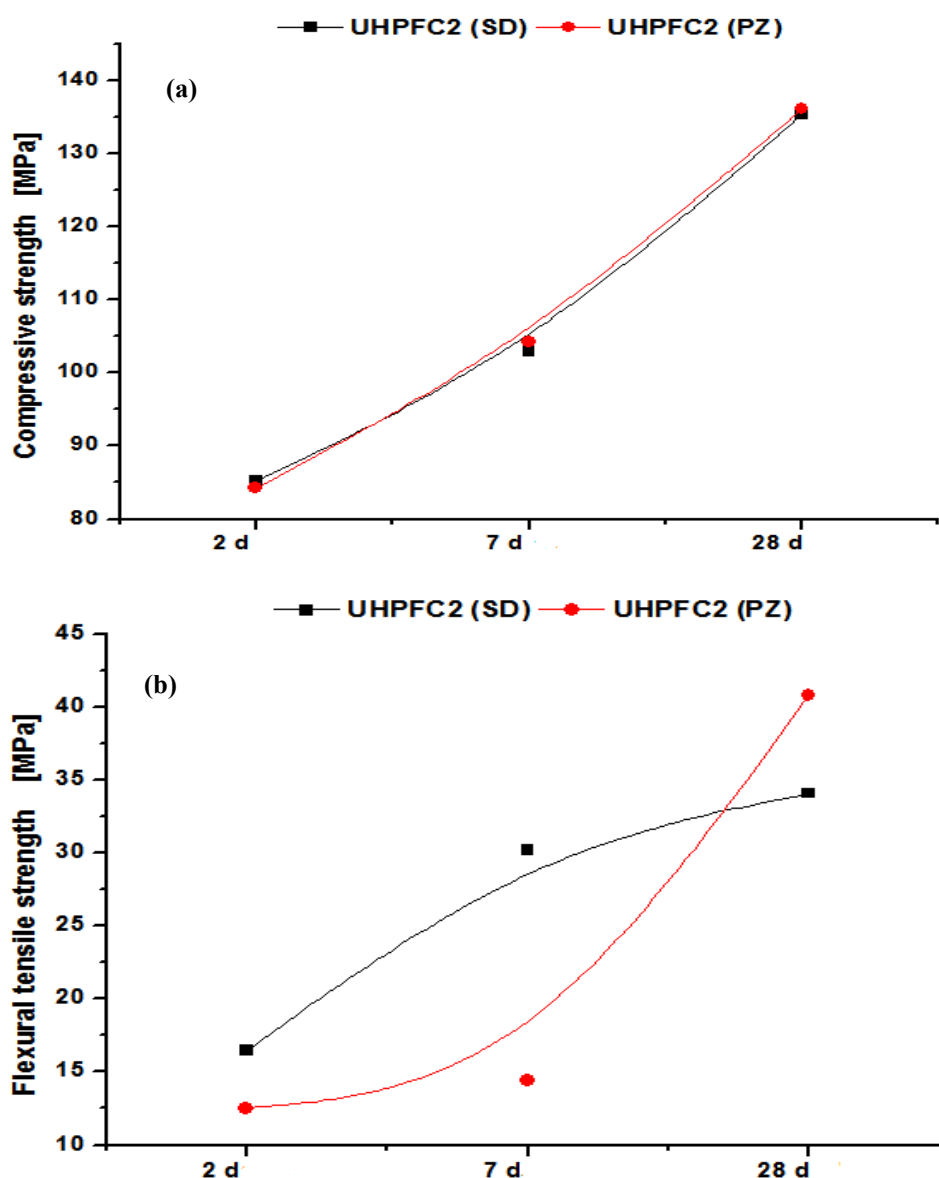


Figure 5 Evolution of Compressive (a) and flexural (b) Strength of studied UHPFC's: Compared to Pozzolan-based UHPFC

Figure 5 presents the evolution of compressive and flexural strength of studied UHPFC's; Compared to Pozzolan-based UHPFC. It is clearly that the compressive and flexural strength of Dune sand-based concretes is better to Pozzolan-based concretes especially at short term of hardening age. The incorporation of dune sand in ultra-high concrete is particularly useful during the first 28 days, where the rate of strength development is considerably higher than pozzolan-based concretes. After 28 days of curing, the incorporation of DS does cause an increase in the rate of strength development. That can be explained by improvement of the compactness and densification of the cement matrix in the presence of finely ground dune sand [10-12, 19-21]. The results of ultra-sonic tests of sand-based concretes showed us that a clear

improvement of the compactness of the concrete and that by the increase of the speed of propagation of the sound within the cement matrix of the UHPFC (DS) (figure 6).

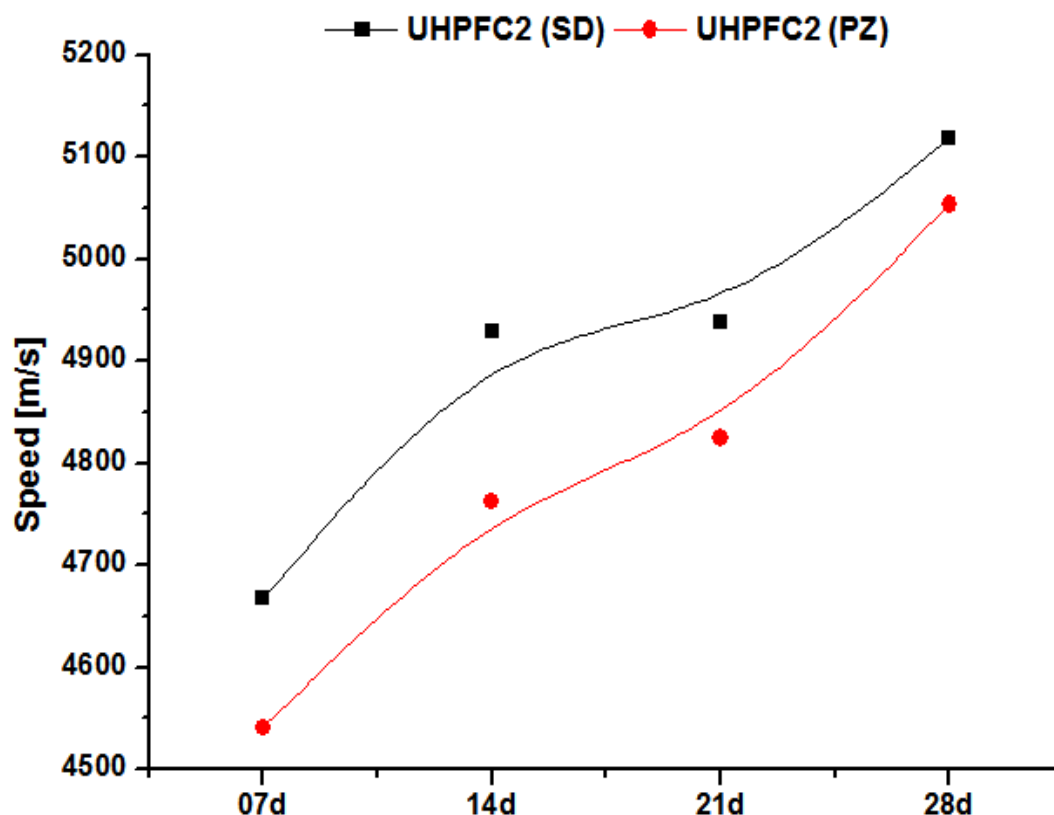


Figure 6 Evolution of ultrasonic velocity as a function of curing time of UHPFC's

3.5. Micro-structural study of UHPFC based on crushed dune sand

A micro-structural study by SEM of studied concretes was conducted to analyze the effect of the crushed dune sand on cementitious hydration products. In Figure 7 gives the cementitious matrix-dune sand aggregates interface in a concrete specimen based on crushed dune sand after 28 days of hydration (with and without fibers).

According those images, it clearly observe the formation of new hydration products from the pozzolanic reaction between crushed dune sand and portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) released from hydration of cement (figure 7(a)). Also, it is observed that the dune sand grains (used as fine aggregates) well bonded with cement matrix in both cases of studies i.e. concretes with and without fibers [31-34]. It is also remarkable that crushed dune sand has densified the interfacial area between the fiber and the cement matrix (figure 7(b)).

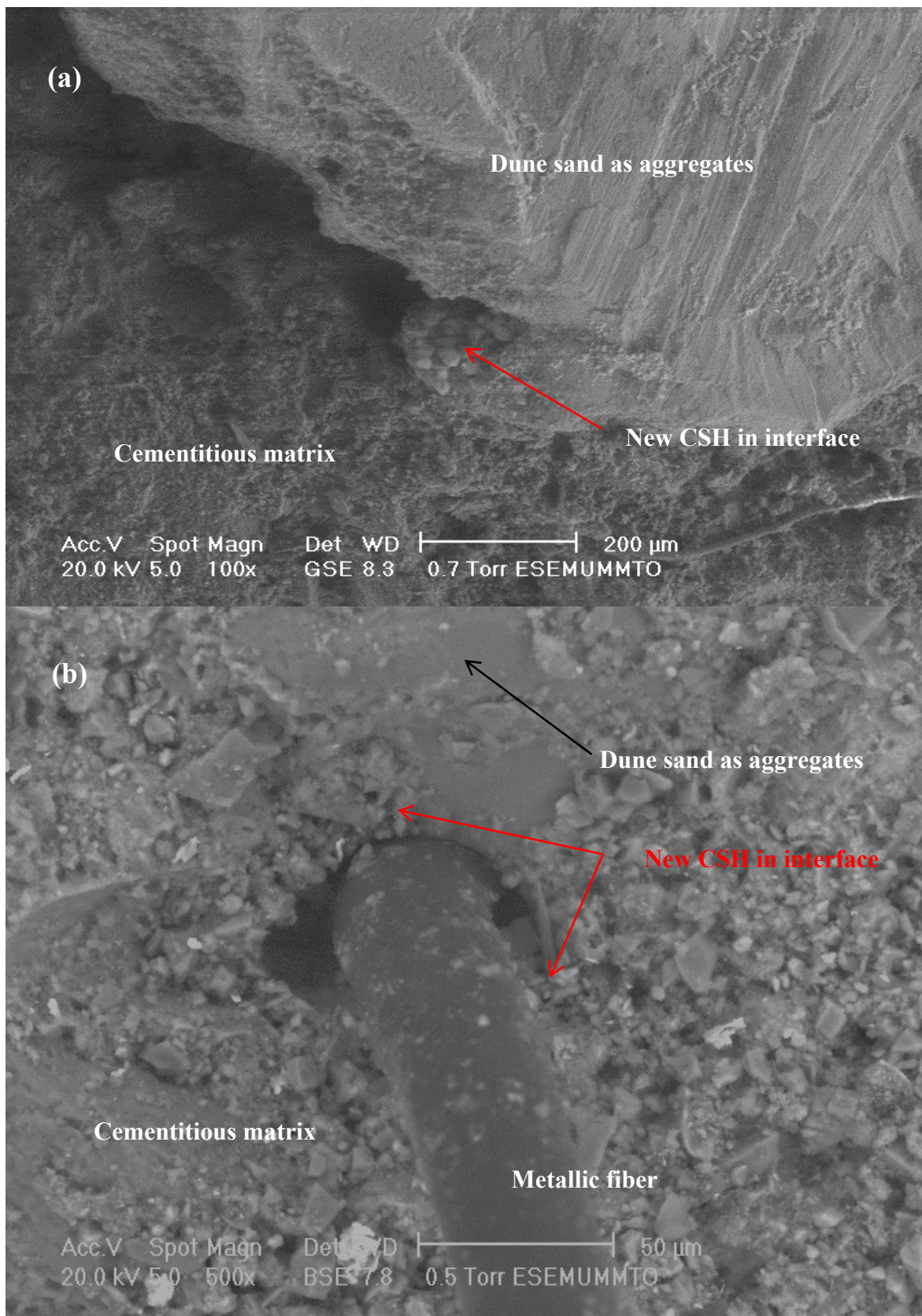


Figure 7 SEM images of studied concretes based on crushed dune sand
(a) Without fibers (b) UHPFC with fibers

4. Conclusion

The importance of valorization and using of dune sands has been discussed in this work. According the results obtained from this study, the following conclusions can be drawn on the Effect of crushed dune sand on the mechanical performance of UPFC with and without fibers:

- The optimal amount of cement substitution by dune sand is 10%.
- The optimum volume of metal fibers is 5%.
- The best variant is the one that substitutes the cement with 10 % dune sand and 5% metal fiber, called uhpfc2.
- The effect of the introduction of pozzolan on the mechanical properties is clear after 28 days.
- The mechanical strengths obtained are in good agreement with the speeds of the ultrasound.
- The introduction of dune sand into the ultra-high performance fiber reinforced concrete composition is advantageous from the point of view of its abundance and low operating cost.
- In light of the above, we can conclude that the development of sand dunes and pozzolan in the manufacture of ultra-high performance fiber concrete with suitable formulations is promising from the point of view of economy and mechanical performance. For this and prospect, the sustainability of the best variant will be studied in aggressive environments and it will be the theme of the ext study.
- The micro-structural study carried by SEM on studied concretes, has showed the beneficial effect of the crushed dune sand on the cementitious hydration products. The interfacial zone of cementitious matrix studied on concrete specimens (with and without fibers) has showed that crushed dune sand can gives the formation new products (CSH) which contributed to the improvement of the mechanical performance of concrete.

5. References

- [1] Denarié, E and Bruhwiler, E. Strain-hardening Ultra-high Performance Fibre Reinforced Concrete: Deformability versus Strength Optimization. Proceedings of an ASMES International Workshop, Freiburg, Germany, 2011.
- [2] Feylessoufi.A, Crespin.M, Dion.P, Bergaya.F, anDamme.H, and Richard's,Controlled Rate Thermal Treatment of Reactive Powder Concretes, Advanced Cement Based Materials, Volume 6, Issue 1, pp. 21-27.
- [3] Oesterlee, C.; Sadouki, H. and Brühwiler, E. Structural analysis of a composite bridge girder combining UHPFRC and reinforced concrete. UHPC-2008: The Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete, March 2008
- [4] Sata V, Jaturapitakkul C, Kiattikomol K. Influence of pozzolan from various byproduct materials on mechanical properties of high-strength concrete. Constr Build Mater 2007; 21(7):1589–98.
- [5] Habel, K.; Viviani, M.; Denarié, E. and Brühwiler, E. Development of the mechanical properties of an Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC). Cement and Concrete Research, p. 1362-1370, 2006.

- [6] Victor Y. Garas, Lawrence F. Kahn, Kimberly E. Kurtis (2009) —Short-term tensile creep and shrinkage of ultra-high performance concrete”. *Cement & Concrete Composites*, Vol 31, pp. 147–152.
- [7] V.G. Papadakis, S. Antiohos, S. Tsimas, Supplementary cementing materials in concrete Part II: A fundamental estimation of the efficiency factor, *Cement and Concrete Research* 32 (2002) 1533–1538
- [8] F. De Larrard, “Ultra fine particles for the making of very high strength concretes, *Cement and concrete research*”, vol. 19, n°2, PP 161-172, 1989.
- [9] Spasojevic, “Structural Applications of Ultra-High Performance Fiber-Reinforced Concrete to Bridges”, PhD thesis, Swiss federal of Technology Lausanne, 2008.
- [10] Farid Benmerioul, Abdelkadir Makani, Ahmed Taфраoui, Said Zaouai, Valorization of the Crushed Dune Sand in the Formulation of Self-compacting-concrete, *Procedia Engineering* Volume 171, 2017, Pages 672-678
- [11] Taфраoui, “Contribution à la valorisation de sable de dune de l’erg occidental(Algérie) ”, PhD thesis, University of Toulouse, INSA of Toulouse, 2009.
- [12] F. Ait Medjber, M. Saidi, B. Safi et M. Samar, “Strength improvement of a High Performance Fiber Reinforced Concrete (HPFRC) containing local raw materials”, *International Journal of Physical Sciences*, vol 9(18), pp.402-412, 2014.
- [13] ASTM C348 – 08, Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars, which appears in the Annual Book of ASTM Standards Vol 04.01
- [14] ASTM C349 – 08, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic-Cement Mortars (Using Portions of Prisms Broken in Flexure), which appears in the Annual Book of ASTM Standards Vol 04.01
- [15] Safi B.; Benmounah, A. and Saidi, M, (2011) Rheology and zeta potential of cement pastes containing calcined silt and ground granulated blast-furnace slag. *Materiales de Construcción*, 61, (303), pp. 353-370
- [16] Struble, L. and Sun, G.K. Viscosity of Portland cement Paste as a Function of Concentration. *Advanced Cement Based Materials*, vol. 2 (2) (1995) pp. 62-69.
- [17] Ferraris, c.f., 1, Measurement of the rheological properties of performance high concrete; State of the art carryforward. *Newspaper of Research*, the National Institute of Standards and Technology, vol. 104 (5) (999) pp. 461-478
- [18] Katrin habel, Marco Viviani, Emmanuel Denarie, Eugen Bruhwiler, Development of the mechanical properties of Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC), *Cement and Concrete Research* 36 (2006) 1362- 1370
- [19] Zeghad, M., Mitterpach, J., Safi, B., Amrane, B., & Saidi, M. (2017). Reuse of refractory brick wastes (RBW) as a Supplementary cementitious material in a concrete. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 61, 81–87.
- [20] R. Yu, P. Tang, P. Spiesz, H.J.H. Brouwers, A study of multiple effects of nano-silica and hybrid fibres on the properties of Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC) incorporating waste bottom ash (WBA), *Construction and Building Materials* 60 (2014) 98–110
- [21] Hasan Sahan Arel, Effects of curing type, silica fume fineness, and fiber length on the mechanical properties and impact resistance of UHPFRC, *Results in Physics* 6 (2016) 664–674.
- [22] Yi NH, Kim JHJ, Han TS, Cho YG, Lee JH. Blast-resistant characteristics of ultrahigh strength concrete and reactive powder concrete. *Constr Build Mater* 2012;28: 694–707.
- [23] Richard, P., "Reactive Powder Concrete: A New-Ultra High Strength Cementitious Material," *Proceedings of the Fourth International Symposium on the Utilization of High-Strength/High-Performance Concrete*, 29–31 May 1996, Paris, France, Ed., de Larrard, F. and Lacroix, R., Vol. 3, pp. 1,343–1,357.
- [24] Rossi, P., "Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concretes. A French Perspective on Approaches Used to Produce High-Strength, Ductile Fiber-Reinforced Concrete," *Concrete International*, Vol. 23, No. 12, December 2001, pp. 46–52.

- [25] Kazemi, S. and Lubell, A., "Influence of Specimen Size and Fiber Content on Mechanical Properties of Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete," *ACI Materials Journal*, Vol. 109, No. 6, November–December 2012, pp. 675–684.
- [26] Schmidt, M., "Sustainable Building With Ultra-High-Performance Concrete (UHPC)—Coordinated Research Program in Germany," *Proceedings of Hipermat 2012 3rd International Symposium on UHPC and Nanotechnology for High Performance Construction Materials*, Ed., Schmidt, M., Fehling, E., Glotzbach, C., Fröhlich, S., and Piotrowski, S., Kassel University Press, Kassel, Germany, 2012, pp. 17–25.
- [27] Safeer Abbas, Ahmed M. Soliman, Moncef L. Nehdi, Exploring mechanical and durability properties of ultra-high performance concrete incorporating various steel fiber lengths and dosages, *Construction and Building Materials* 75 (2015) 429–441.
- [28] Dong Joo Kim, Seung Hun Park, Gum Sung Ryu, Kyung Taek Koh, Comparative flexural behavior of Hybrid Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete with different macro fibers, *Construction and Building Materials* 25 (2011) 4144–4155.
- [29] A.M.T. Hassan, S.W. Jones, G.H. Mahmud, Experimental test methods to determine the uniaxial tensile and compressive behaviour of ultra high performance fibre reinforced concrete (UHPFRC), *Construction and Building Materials* 37 (2012) 874–882.
- [30] Petr Maca, Radoslav Sovjak, Tomas Vavrinik, Experimental Investigation of Mechanical Properties of UHPFRC, *Concrete and Concrete Structures 2013 Conference*, *Procedia engineering* 65 (2013) 14-19.
- [31] Banthia N, Majdzadeh F, Wu J, Bindiganavile V. Fiber synergy in hybrid fiber reinforced concrete (HyFRC) in flexure and direct shear. *Cem Concr Compos* 2014; 48:91–7.
- [32] Kinda Hannawi, Hui Bian, William Prince-Agbodjan, Balaji Raghavan, Effect of different types of fibers on the microstructure and the mechanical behavior of Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concretes, *Composites Part B* 86 (2016) 214-220.
- [33] Luaay Hussein, Lamyaa Amleh, Structural behavior of ultra-high performance fiber reinforced concrete-normal strength concrete or high strength concrete composite members, *Construction and Building Materials* (2015).
- [34] R. Yu, P. Spiesz, H.J.H. Brouwers; Development of Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC): Towards an efficient utilization of binders and fibres, *Construction and Building Materials* 79 (2015) 273–282.

Influence of the acoustic insulation position on the reverberation time and noise level in a large classroom

Catalin Bailescu¹, Vlad Iordache²

Technical University of Civil Engineering of Bucharest, Romania
124 Bd Lacul Tei, Bucharest, 020396

¹ E-mail: catalin.bailescu@gmail.com

² E-mail: viordach@yahoo.com

Abstract. *Acoustic comfort is a requirement of major importance during the design of a classroom, conference room or cinema hall. This study is focused on the acoustic comfort parameters called reverberation time and sound pressure level. The aim of this study is to determine the placement influence of the sound absorption material upon the reverberation time for a classroom. In this study the reverberation time was determined using Sabine; Eyring, Arau Puchades and dedicated software of architecture modelling- Sketch-up and acoustic modelling- Odeon. Using these software, we have simulated various locations of the acoustic insulation and determined the most effective placement for sound absorption material to reduce the reverberation time and to maintain a good uniformity of sound pressure level inside the classroom.*

Key words: reverberation time, sound pressure level, acoustic modelling, sound isolation

1. Introduction

The most important acoustic parameters of a classroom that affect acoustic comfort are background noise and reverberation time. According to Zannin and Zwirter [1], acoustical comfort in school classrooms, as well as university classrooms, has been the focus of more research from different countries [2-10]. Another study to highlight this has been published by Rasmussen B and Brunskog Jonas [11]. They have conducted studies which showed that good acoustical comfort for learning demands low noise levels and little reverberation. The literature of room acoustic indicates several procedures to determine one the fundamental parameters that define acoustic comfort: reverberation time.

Sabine's formula [12], developed by Wallace Sabine in 1900, assumes that sound energy diffuses equally through a room. The formula for reverberation time, RT (s), calculation is given below:

$$RT = \frac{0.161 \cdot V}{A + 4mV},$$

where V (m^3) is the volume of the room; A (m^2) is the absorption area and is calculated as $A = \sum(S \cdot \alpha)$, S (m^2) is the area of each material, and α (-) is the absorption coefficient of these materials; $4mV$ corresponds to sound absorption by air, where V is the volume of the classroom and m (m^{-1}) is the absorption coefficient of air.

Eyring's formula developed by Carl Eyring in 1930 [13] offer a revised theory and derives a formula of the reverberation time, RT (s), equation:

$$RT = \frac{0.161 \cdot V}{-S \cdot \ln(1 - \bar{\alpha}) + 4mV}$$

where $\bar{\alpha}$ (-) is the mean absorption coefficient of all the materials, being calculated as the surface weighted average of the absorption coefficients corresponding to the different materials inside the analyzed room $\bar{\alpha} = \sum(S_i \alpha_i) / \sum S_i$, α_i and S_i are the absorption coefficient and the geometric surface of each material inside the room.

Another formula for calculating reverberation is that of Arau Puchades [14]. This formula is developed in 1988, should be used in rooms with asymmetric distribution of absorption and represents the product of three terms corresponding to the three axes of the space, each term being similar to an Eyring formula of the reverberation time.

$$RT = \left[\frac{0.16V}{-S \cdot \ln(1 - \alpha_x) + 4mV} \right]^{\frac{S_x}{S}} \cdot \left[\frac{0.16V}{-S \cdot \ln(1 - \alpha_y) + 4mV} \right]^{\frac{S_y}{S}} \cdot \left[\frac{0.16V}{-S \cdot \ln(1 - \alpha_z) + 4mV} \right]^{\frac{S_z}{S}}$$

where the first term corresponds to the absorption of the materials located parallel to the x axis, the second term for the materials located parallel to the y axis, and the third term for the materials located parallel to the z axis, α_x , α_y , α_z are the arithmetic mean of the absorption coefficients of the surfaces parallel to the three space axes and S_x , S_y and S_z are the sums of the areas of these surfaces parallel to the axes x, y and z axes, respectively.

Romanian norms [15-17] offer a fast engineering approach for the reverberation time determination in case of rooms in accordance with their destination [18]. However, another study [19] shows that the reverberation time is variable inside an analyzed room and there is a considerable difference between the theoretically calculated reverberation time and the average measured value. Therefore despite their fast approach these theoretical formulas might not be applicable for any kind of indoor geometry. To overcome this aspect, in this article we obtained the reverberation time using the simulation software ODEON Acoustics.

In the present work we want to understand if there either small or significant differences between the fast engineering formulas and the more precise approach using the ODEON Acoustics software. These differences between the simple calculation formula and the more precise approach are the same anywhere inside the room or depend on the position of the reception point. We would also like to understand the effect of the acoustic insulation position inside the room. Is the acoustic effect the same for the entire room or different from one location to another? What is the effect of the acoustic insulation materials inside the room and where is its maximum value?

Through these different positions of the acoustic tiles we will highlight whether there is a difference between the noise levels and the reverberation times obtained near the noise source or the other side of the room. The result is very useful when it comes to improving the acoustic comfort in a certain area of the room.

2. Acoustic simulations

For this study we used the geometry of a real classroom from Faculty Building Services and Equipment, Technical University of Civil Engineering of Bucharest. It is a large rectangular shaped classroom (dimensions 16.05m x 6.7m x 4.25m), with 6 large windows (1m x 2.5m each) for 72 students. A 3D virtual geometry model of this classroom (Fig.1) was sketched in Google Sketch up and further imported in Odeon Acoustics.

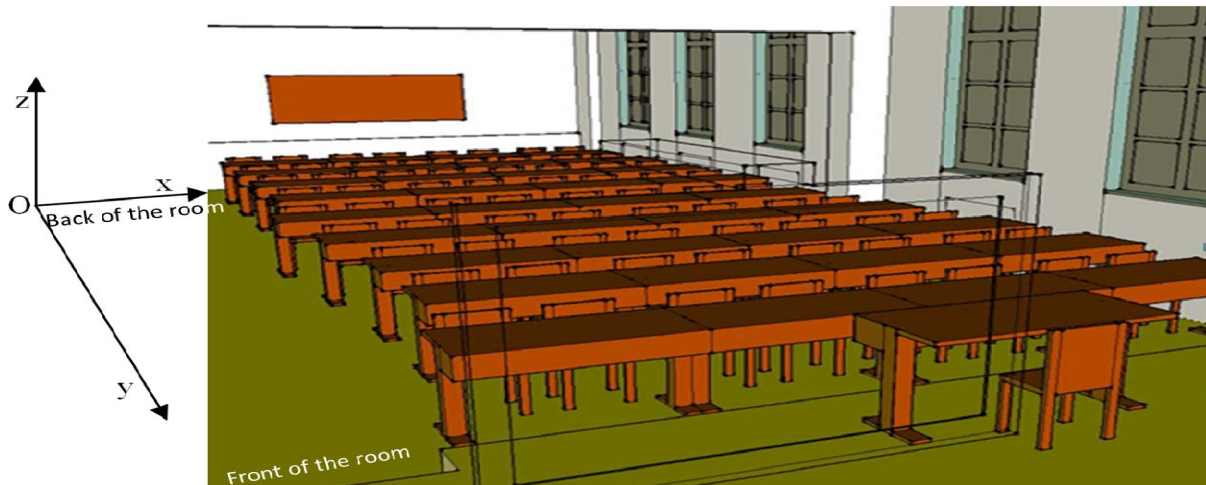


Fig.1. Analysed classroom, architectural of the virtual model classroom

The materials for each surface were noted by inspection and then absorption coefficients (Table 1) were assigned to the computer model's surfaces, based on the most appropriate data available in ODEON material library. No attempts were made to calibrate the ODEON virtual model to the real room (no comparison to experimental reverberation time value), since none of the predicted data are to be compared with measured data.

Table 1

Absorbance coefficients of materials by frequency							
Frequency	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
α plaster	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
α parquet	0,25	0,15	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07
α door	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10
α window	0,05	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
α ceiling	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
α chairs	0,08	0,03	0,02	0,001	0,001	0,31	0,006
α table	0,08	0,03	0,02	0,001	0,001	0,31	0,006
α heating equipment	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
α lamp	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02

The noise source chosen is an omnidirectional source characterized by a sound power level of 90 dB and is located, according to [18], in the middle of the room, with the following coordinates: 5 m on Ox axis; 16 m on Oy axis; 1.50 m on Oz axis. Therefore, since a single source position has been used in this study, a 10% nominal precision is expected [19]. Several receptors were also placed in order to obtain the acoustic comfort in specific points inside the room.

In this study we aim to determine how the location of the sound insulation influences the acoustic comfort inside the classroom.

For acoustic treatment we used tiles from one of the largest manufacturers on the market. Usually these tiles are used for acoustical ceiling throughout a space used for collaboration or focused work (offices, classrooms). This type of acoustic treatment can also be used for wall cladding, while maintaining a consistent visual.

To observe how efficient a solution can be with a minimal implication, we used only 10.25 m² of acoustic tiles with absorption coefficient present in Table 2.

Table 2

Absorbance coefficients of acoustic tiles by frequency							
Frequency	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
α plaster	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

The percentage of the acoustic treated surface -P₁ was calculated, in the formula below:

$$P_1 = S_{\text{treated1}} / (S_{\text{wall}} + S_{\text{ceiling}} + S_{\text{floor}})$$

$$P_1 = 10.25 / (193.37 + 97.29 + 107.54) = 10.25 / 398.2 = 2.574\%$$

For P₁ the RT for Solution 1 is 2.87[s] at 1000Hz

We proposed eight different positions of the acoustic insulation, described in Table 3 and visually presented in Fig.2.

Table 3

Solutions of acoustic insulation positioning	
Acoustic insulation location	Description
Solution 1	On the ceiling, towards the back of the classroom
Solution 2	On the ceiling, towards the front of the classroom
Solution 3	At the upper side of the front wall,
Solution 4	At the upper side of the back wall
Solution 5	On the external wall, towards the back of the classroom
Solution 6	On the external wall, towards the front of the classroom
Solution 7	On the internal wall, towards the back of the classroom
Solution 8	On the internal wall, towards the front of the classroom

A 3D architectural model as the two represented in Fig.2 was created for each solution, and then imported into the acoustic modelling software.

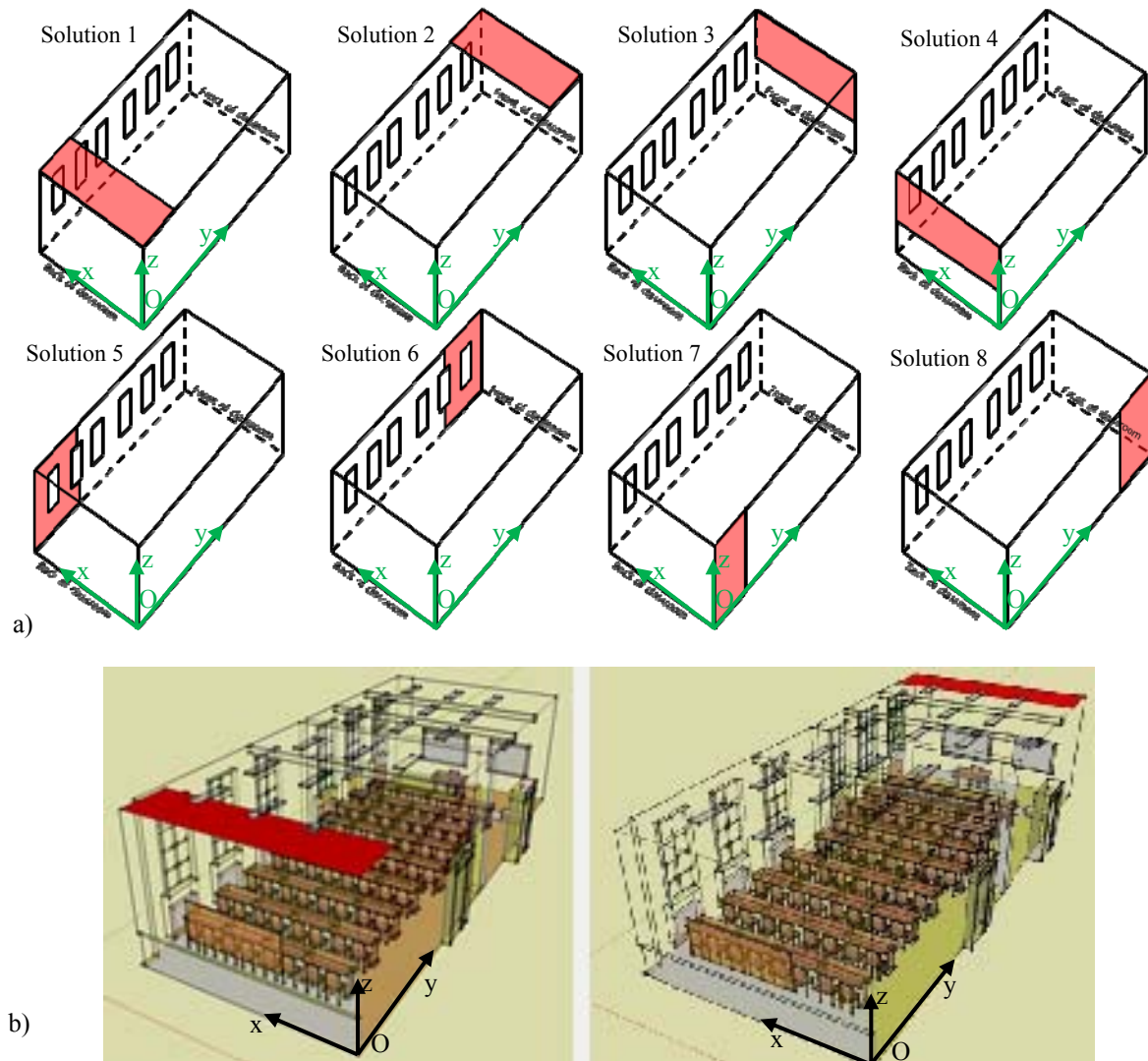


Fig.2. Noise protection solutions: a) Eight analysed solutions, b) 3D schemas for Solutions 1 and 2

3 Results

In this chapter, the results from the acoustical modelling outlined in Chapter 1 are presented. The effects of the acoustic insulation upon the acoustic parameters of the classroom and various design implications are discussed.

Since classical formulas only take into account the volume parameters and the absorption area, we will use the Odeon Acoustic software which uses a hybrid method that calculates each reflection of a sound, thus creating several diffused secondary sources, thus taking into account other factors such as room architecture and indoor objects.

The reverberation time was firstly calculated with Sabine, Eyring and Arau Puchaes formulas and its values were compared with the maximum value according to the Romanian norms. Next, the acoustic simulations for each 8 acoustic solutions in the Odeon Acoustic software were used in order to understand the importance of the soundproofing materials location inside a room upon the acoustic comfort parameters (reverberation time and acoustic pressure level).

3.1 Results for room reverberation time (RT) without acoustic insulation

The Odeon simulated reverberation time is represented in the graph below. It was calculated for frequency between 125Hz - 8000Hz using literature formulas and was found to vary between 0.61-3.98 [s] depending on the frequency.

The maximum value of the reverberation time to assure indoor acoustic comfort, RT_{max} (s), according to the norms [17], for this classroom is 0.97 seconds.

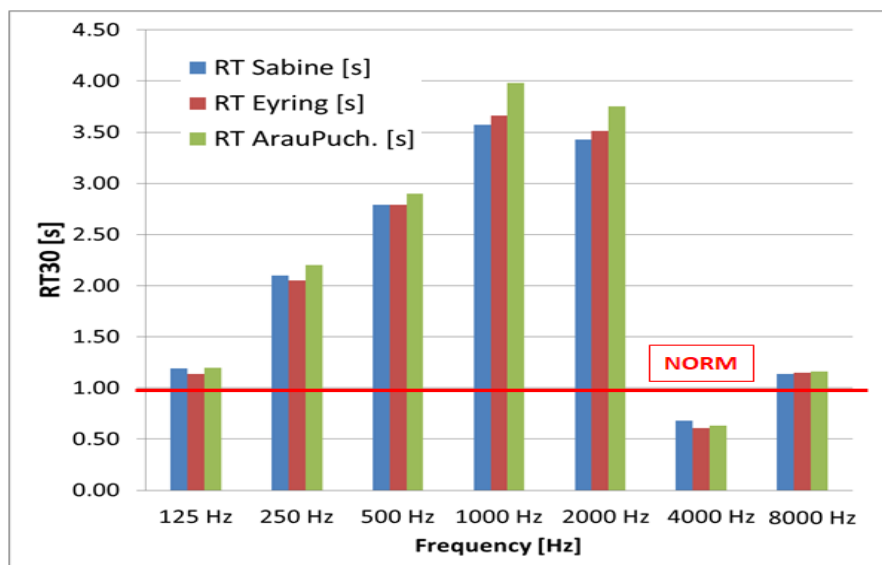


Fig.3. The comparative graph of RT, according to Sabine, Eyring, and Arau Puchades formulas, compared to RT according to C125: 2013 [17]

One could note that the reverberation time respects the norm only for the frequency 4000Hz. There is a similarity of the reverberation times obtained with the three prediction formulas. The Arau Puchades formula indicates slightly higher values compared to those obtained using Sabine or Eyring formulas.

3.2 Results for acoustic insulation treatment

Following the simulation of the soundwave propagation inside the classroom for each acoustic treatment solution, the average noise level for the classroom not refurbishment at frequency between 125Hz – 8000Hz was compared to the average values throughout the classroom with refurbished solutions (Table 4).

Table 4

The average sound pressure level of the classroom according to Odeon Acoustic

Sound pressure level	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
L_p Room Not Refurbished [dB]	75,7	78,7	80,2	81,2	80,7	72,5	72,8
L_p Refurbished Solution 1 [dB]	75,5	77,8	78,6	79,3	78,6	71,7	72,0
L_p Refurbished Solution 2 [dB]	75,2	77,5	78,2	79,0	78,3	71,2	71,7
L_p Refurbished Solution 3 [dB]	75,2	77,6	78,5	79,3	78,6	71,3	71,8
L_p Refurbished Solution 4 [dB]	75,3	77,6	78,4	79,2	78,5	71,2	71,8
L_p Refurbished Solution 5 [dB]	75,3	77,8	78,6	79,4	78,7	71,5	71,9
L_p Refurbished Solution 6 [dB]	75,3	77,6	78,4	79,1	78,4	71,4	71,7
L_p Refurbished Solution 7 [dB]	75,4	77,8	78,5	79,4	78,6	71,5	71,9
L_p Refurbished Solution 8 [dB]	75,6	77,7	78,5	79,3	78,6	71,3	71,8

All the acoustic refurbishment solutions lead to a similar result: lower noise level in the classroom compared to the value before the refurbishment. It is noticed that the most effective solution to position the acoustic tiles to reduce the noise level is solution 2 (acoustic tiles placed on the ceiling in front of the room), while the least efficient would be to position the tiles according to the acoustic solution1 (acoustic tiles placed on the ceiling in back of the room). The differences between these two values are from 0.2dB (for 125Hz) to 0.5dB (for 4000Hz).

A similar comparison of the 8 refurbishment solutions was carried out with respect to the reverberation time criteria. Following the simulation in ODEON Acoustics the average value of reverberation time was determined for the entire room geometry and compared to the average values obtained for the room with refurbishment solutions (Table 5).

All the acoustic refurbishment solutions lead to a similar result: smaller reverberation time values compared to the values before the refurbishment. One could notice that the most effective solution for the location of the acoustic insulation to reduce the reverberation time is according to the solution 8 (acoustic insulation placed on the wall behind the room) while the less effective solution would be solution 2 (acoustic tiles placed on the ceiling in front of the room). The highest difference

between the two solutions was 0.15(s) corresponding to frequency 2000Hz. We also note that the most important acoustic effect brought by solution 8 was obtained for frequency 2000Hz (0.92(s) lower reverberation time compared to the room not refurbished).

Table 5

The average reverberation time of the classroom according to Odeon Acoustic

Frequency	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
RT Room Not Refurbished [S]	1,48	2,38	3,05	3,71	3,54	1,12	1,18
RT Refurbished Solution 1 [S]	1,47	2,16	2,49	2,87	2,68	0,98	1,06
RT Refurbished Solution 2 [S]	1,45	2,11	2,50	2,94	2,77	0,97	1,07
RT Refurbished Solution 3 [S]	1,42	2,12	2,49	2,93	2,74	1,04	1,08
RT Refurbished Solution 4 [S]	1,50	2,13	2,45	2,85	2,67	1,00	1,06
RT Refurbished Solution 5 [S]	1,45	2,14	2,50	2,94	2,73	1,00	1,07
RT Refurbished Solution 6 [S]	1,49	2,17	2,49	2,88	2,69	0,96	1,08
RT Refurbished Solution 7 [S]	1,46	2,11	2,39	2,81	2,60	1,02	1,06
RT Refurbished Solution 8 [S]	1,49	2,09	2,38	2,81	2,62	0,95	1,05

Overall we conclude that solution 8 presents a significant acoustic effect compared both to the room not refurbished and to all other analysed solutions. Given this acoustic effect was obtained with only a small acoustic surface, 10.25 m² of acoustic tiles (representing 2.57% of the room surface: walls, ceiling and floor, without furniture), we consider that the position of the acoustic insulation inside the room represents a very important aspect for any acoustic refurbishment.

In order to better understand the influence of the position of the acoustic tiles inside the room upon the acoustic comfort (noise level and reverberation time), mapping of these parameters are presented for the solution 1 (acoustic tiles on the ceiling in back of the room) and solution 2 (acoustic tiles on the ceiling in front of the room). The maps represent the acoustic parameter value on a horizontal plane at 1.2m height.

Fig.4 and Fig.5 present the noise level mapping for the frequency 1000Hz for solutions 1 and 2 respectively. In the back part of the classroom, solution 1 leads to noise level values of 78.6(dB), lower than those obtained for the solution 2 (79.1dB). In the front part of the classroom, solution 1 leads to noise level values of 83.6(dB), higher than those obtained for the solution 2 (81.6dB).

Thus, the acoustic tiles partially absorb noise energy near the place where they are located. The sound pressure level already has the lowest value towards the back of the classroom; therefore placing the tiles in this place (solution 1) would further amplify this drop, while solution 2 will decrease the noise level in the front part of the classroom.

To achieve a levelling of noise level in this room, a positioning of acoustic insulation is recommended in front of the room.

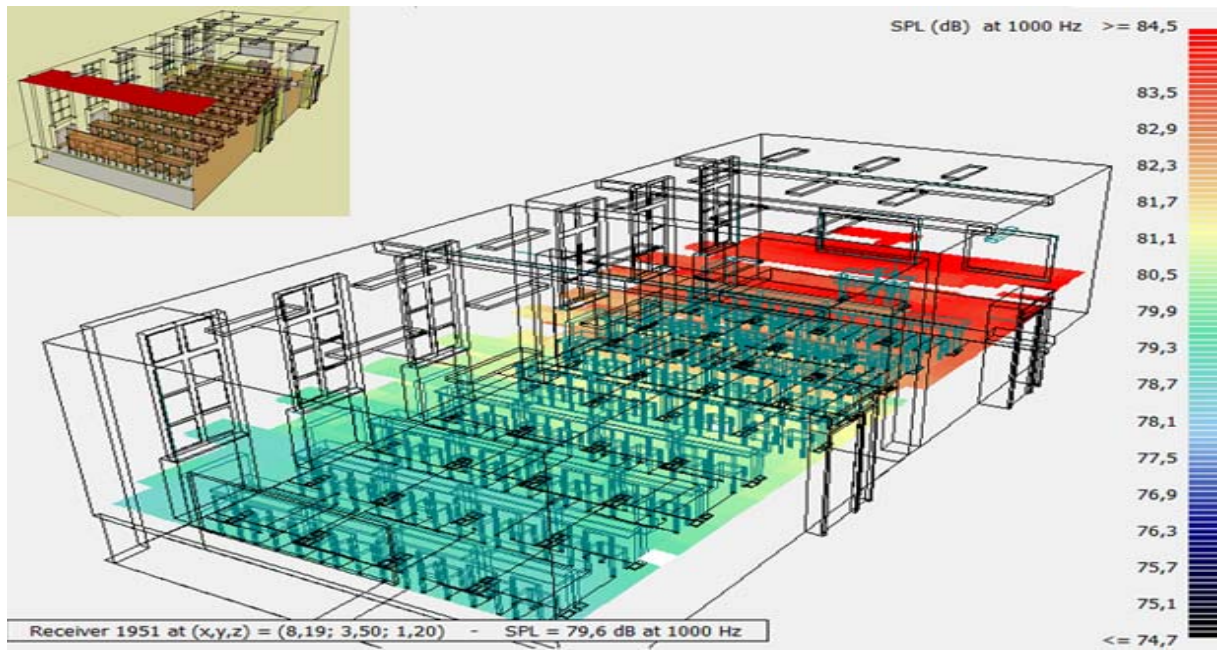


Fig.4. Map of Noise level at 1000Hz distribution for Solution 1

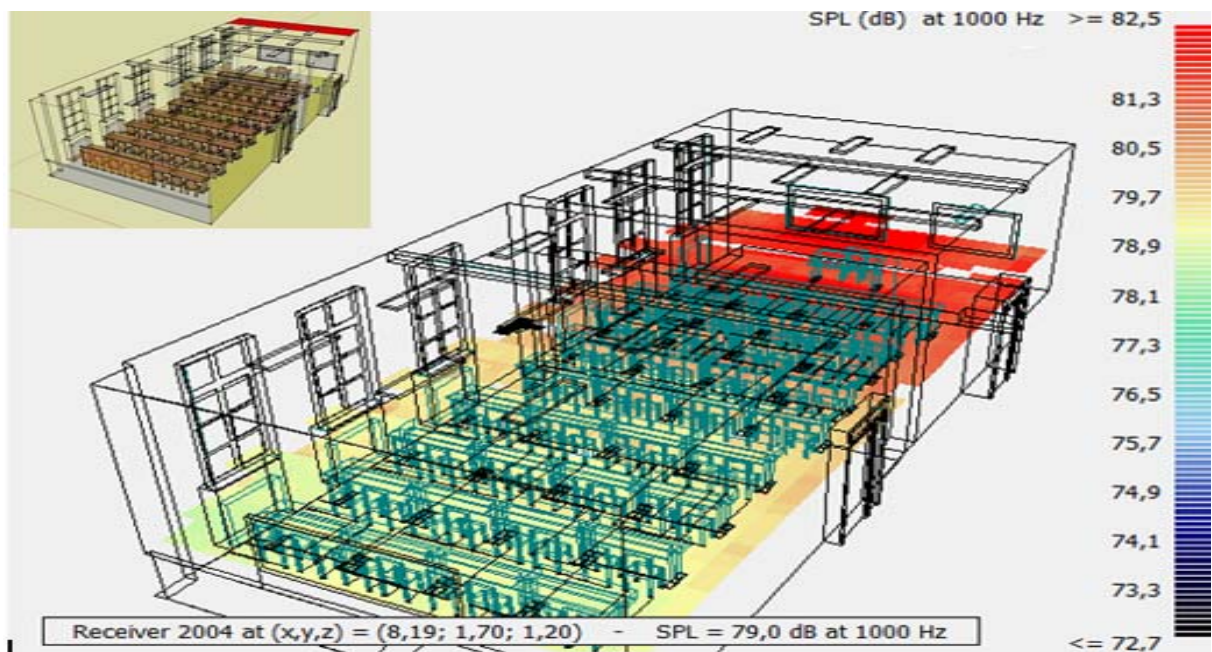


Fig.5. Map of Noise level at 1000Hz distribution for Solution 2

Fig.6 and Fig.7 present the reverberation time mapping for the frequency 1000Hz for solutions 1 and 2 respectively. Initially, the reverberation time was about 3.7 (s) uniformly distributed along the entire geometry of the room. After the refurbishment solution implementation we find lower reverberation time values. In the back part of the classroom, solution 1 leads to a reverberation time of about 2.85 (s) similar to that obtained by means of solution 2.

In the front part of the classroom, solution 1 leads to a reverberation time of about 2.4(s) while for the solution 2 the reverberation time is just under 2(s).

After de refurbishment of the classroom the reverberation time is not uniformly distributed. It decreases more close to the location of the acoustic protection solution. In our case, the reverberation time decreases 1.5 (s) in the front part of the classroom. This means that the acoustic insulation should be placed close to the part of the room where the noise protection conditions are not met and also close to that zone of the room where the occupants are.

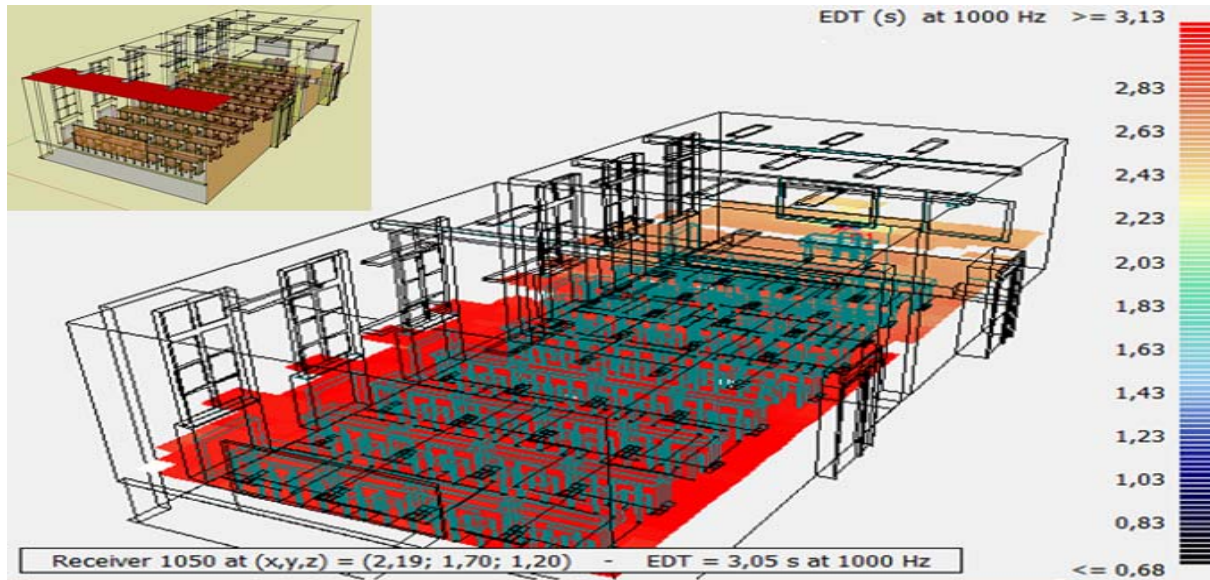


Fig.6. Map of Reverberation Time at 1000Hz distribution for Solution 1

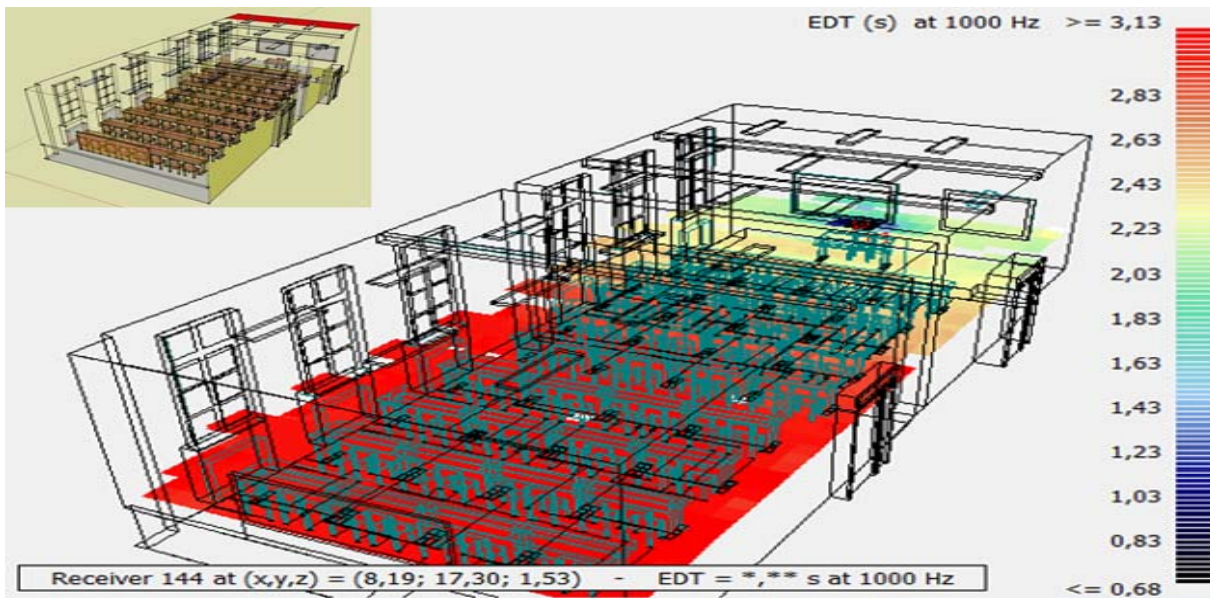


Fig.7. Map of Reverberation Time at 1000Hz distribution for Solution 2

In conclusion, the acoustic refurbishment has multiple effects upon the acoustic indoor environment. The sound energy is absorbed in the sound insulation materials and consequently the noise level, which represents the effect of the superposition of the direct and the reflected soundwaves, is smaller. The reduction of the soundwave

reflection leads to a smaller reverberation time. Thus, both the noise level and the reverberation time values decrease. The change of these two parameters is greater close to the location of the acoustic insulation and less significant towards the opposite end of the room.

4. Conclusions

The analyses in this study show the most common fast estimations of the reverberation time using Sabine, Eyring or Arau Pouchade formulas might lead to uncertain estimation of acoustic comfort parameters if one for small sound absorption areas. They present only one value characteristic for the entire room while in reality the reverberation time as well as the noise level varies.

The findings from the current study show that the position of the acoustic insulation influences differently the reduction of the noise level and the reverberation time in diverse locations inside the room. In such situations, changing the location of the sound-absorbing material can be a simple and viable alternative to reduce noise. For example insulation placed in front of the room will led to a greater decease in noise, while for uniformity of reverberation time it will be recommended to place it behind the hall.

However, such a modelling approach might present an inconvenient concerning the choice of the materials inside the rooms with respect to their acoustic parameters. Therefore an experimental phase is necessary in order to identify the real acoustic parameters of existing materials so that the model would be calibrated to the real measurements before the simulation.

Reference

- [1] Zannin PHT, Zwirtes DPZ (2009) Evaluation of the acoustic performance of classrooms in public schools. *Applied Acoustics* 70: 626-635
- [2] Kennedy SM, Hodgson M, Edgett LD, Lamb N, Rempel R (2006) Subjective assessment of listening environments in university classrooms: perceptions of students. *J Acoust Soc Am* 119: 299-309.
- [3] Yang WY, Hodgson M (2006) Auralization study of optimum reverberation times for speech intelligibility for normal and hearing-impaired listeners in classrooms with diffuse sound fields. *J Acoust Soc Am* 120: 801-807.
- [4] Hodgson MR, Rempel R, Kennedy S (1999) Measurement and prediction of typical speech and background-noise levels in university classrooms during lectures. *J Acoustics Soc Am* 105: 226-233.
- [5] Yang W, Hodgson M (2007) Validation of the auralization technique: comparative speech-intelligibility tests in real and virtual classrooms. *Acta Acust United Acust* 93: 991-999.
- [6] Yang W, Hodgson M (2007) Ceiling baffles and reflectors for controlling lectureroom sound for speech intelligibility. *J Acoust Soc Am* 121: 3517-3526.

- [7] Yang W, Hodgson M (2007) Optimum reverberation for speech intelligibility for normal and hearing-impaired listeners in realistic classrooms using auralization. *Build Acoustics* 14: 163-177.
- [8] Zannin PHT, Marcon CR (2007) Objective and subjective evaluation of the acoustical comfort in classrooms. *Applied Ergonomics* 38: 675-80.
- [9] Zannin PHT, Loro CP (2007) Measurement of the ambient noise level, reverberation time and transmission loss for classrooms in a public school. *Noise Control Eng J* 55: 327-333.
- [10] Astolfi A, Pellerey F (2008) Subjective and objective assessment of acoustical and overall environmental quality in secondary school classrooms. *J Acoustics Soc Am* 123: 163-173.
- [11] Rasmussen B, Brunskog Jonas (2012) Reverberation time in class rooms - Comparison of regulations and classification criteria in the Nordic countries. *BNAM 2012: Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting*, Denmark, June 18th-20th, 2012.
- [12] Neubauer R, Kostek B. Prediction of the reverberation time in rectangular rooms with non-uniformly distributed sound absorption. *Archiv Acoust* 2001;26:183–201.
- [13] Eyring CF. Reverberation time in “Dead” rooms. *J Acoust Soc Am* 1930;1:217–41.
- [14] Ducourneau J, Planeau V. The average absorption coefficient for enclosed spaces with non-uniformly distributed absorption. *Appl Acoust* 2003;64:845–62.
- [15] STAS 6156-86, Acustica în construcții. Protecția împotriva zgomotului în construcții civile și social - culturale. Limite admisibile și parametri de izolare acustică
- [16] SR EN 717/1-2013, Acustică. Evaluarea izolării acustice a clădirilor și a elementelor de construcții. Partea 1: Izolare la zgomot aerian
- [17] C125 – Normativ privind protecția la zgomot
- [18] ISO 3382-2 Acoustics -Measurement of room acoustic parameters Part 2: Reverberation time in ordinary rooms
- [19] ISO/DIS 12913-2 Acoustics -- Soundscape -- Part 2: Data collection and reporting requirements

Variații temporale și spațiale ale efectului insulei de căldură urbană; Studiu de caz pentru municipiul București

Space and time variations of the effect of the urban heat island; Case study for the city of Bucharest

Florinela Ardelean¹

¹Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, B-dul Pache Protopopescu nr. 66, București, România
E-mail: florinela.ardelean@gmail.com

Rezumat. Relația dintre climă și oraș este reciprocă. Clima influențează modul în care este utilizat spațiul orașului, fiind un element esențial în proiectarea, execuția și exploatarea clădirilor. Orașul, prin amenajare și activități specifice, modifică condițiile climatice regionale. În această lucrare s-a realizat o analiză a insulei de căldură urbane (ICU), ca rezultat al acestei interacțiuni. Indicatorul care descrie ICU este diferența de temperatură dintre zona centrală a orașului și cea de la periferie. Folosindu-se valorile medii lunare ale temperaturii troposferei joase precum și a altor parametri meteorologici, valori obținute în urma prelucrării datelor corespunzătoare intervalului 2005-2013, s-au putut face aprecieri asupra zonei metropolitane a Bucureștiului.

Cuvinte cheie: insulă de căldură, parametri climatici, aglomerare urbană

Abstract. The relationship between the city and the climate is reciprocal. The climate influences the way the city's space is used, being an essential element in designing, execution and exploitation of buildings. The city, through its specific activities and arrangement, modifies regional climate conditions. This paper analyzes the urban heat island (UHI), as a result of this interaction. The indicator, which describes UHI, is the temperature difference between the city's downtown and outskirts. Using the average monthly temperatures of the lower troposphere as well as other meteorological parameters, the values obtained by processing data corresponding to the 2005 – 2013 interval, appreciations could be made on the metropolitan area of Bucharest.

Key words: heat island, climate parameters, urban congestion

1. Introducere

Asistăm în prezent la o tendință de urbanizare excesivă, fapt care influențează direct calitatea aerului exterior și interior, caracteristicile microclimatice ale zonei, condițiile de viață și starea sănătății populației. Adaptarea la noile condiții a impus reamenajarea și extinderea teritoriului construit. Astfel, s-au înregistrat substituții de

ecosisteme, au fost înlocuite zonele naturale acoperite cu vegetație cu suprafețe în mare parte impermeabile și cu o biodiversitate redusă. Obținerea acestor zone impermeabile este rezultatul utilizării materialelor de tipul betonului, cărămidilor, sticlei, gresiei, asfaltului, bitumului, etc, pentru a construi clădiri moderne, cu consum energetic redus, drumuri și locuri de parcare. Analizându-se valorile principalilor factori meteorologici temperatură, umiditate relativă, intensitatea radiației solare la nivelul solului, s-au înregistrat diferențe semnificative între zona centrală a orașului și zonele limitrofe acestuia [1, 2]. Existența temperaturilor mai ridicate în partea centrală a aglomerărilor urbane definește *insula de căldură*, în care temperatura scade dinspre centru către periferie. La schimbările climatice deja demonstrate [3] se adaugă și dezvoltarea insulei de căldură urbane. Apariția insulei de căldură este manifestarea climatică cea mai cunoscută a influenței mediului urban asupra climatului. Din literatura de specialitate rezultă că există cercetări efectuate în diferite țări referitoare la insula de căldură urbană [4,5,6,7], la efectul acesteia asupra sănătății omului [8,9] și asupra biodiversității, dar se impune continuarea studiilor atât în domeniul combaterii cauzelor apariției insulei de căldură urbane, cât și în cel al diminuării efectelor prin acțiuni de adaptare. Alături de încălzirea globală, urmările sunt deja vizibile și inevitabile din cauza inerției sistemului climatic. Avându-se în vedere gravitatea acestor aspecte observate, s-a impus realizarea unui studiu care să urmărească evoluțiile simultane în timp ale valorilor medii ale parametrilor climatici: temperatură și cantitate de precipitații, atât în centrul municipiului București, cât și la periferia acestei aglomerări urbane reprezentative.

2. Orașe și climat

2.1. Cauzele apariției insulei de căldură urbane

Orașul – prin amenajarea teritoriului aferent, clădirile sale, materialele de construcții folosite, rugozitate, scăderea suprafeței acoperită cu vegetație și înlocuirea cu suprafețe impermeabile, activitățile antropice generatoare de căldură și emisiile suplimentare de poluanți sub formă de gaze, pulberi, aerosoli, *este sursa* perturbațiilor termice, radiative, hidrologice și aerologice și influențează climatul, determinând o încălzire a troposferei joase.

Cauzele apariției insulei de căldură urbane (ICU) sunt în prezent bine documentate de comunitatea științifică [1, 10, 11]. Dintre acestea s-ar putea aminti:

- a) înălțimea și amplasarea clădirilor - influențează evacuarea pe timp de noapte a energiei solare absorbite în timpul zilei de materialele de construcții (valori diferite ale conductivității termice);
- b) albedouri mai mici - datorate materialelor urbane;
- c) existența străzilor canion și a clădirilor înalte și compacte ce le mărginesc - determină o creștere a radiației infraroșii absorbite;

- d) o parte tot mai mare din radiația solară absorbită la suprafață este transformată în căldură sensibilă (încălzirea suprafețelor) în defavoarea căldurii latente (schimbarea stării fizice a materiei fără modificarea temperaturii) - se datorează înlocuirii solurilor umede cu suprafețe acoperite și impermeabile, rezultând o scădere a nivelului evaporării ce ar avea loc la nivelul acestor suprafețe;
- e) o mai mare emisie de căldură sensibilă și latentă datorată arderii petrolului din transportul urban, activități industriale și climatizarea spațiilor locuite.

Astfel, diferența în orice moment al zilei dintre temperatura din interiorul cartierelor de blocuri și cea măsurată în câmpul de la marginea orașelor este de cel puțin opt grade [12].

2.2. Bilanțul energetic în troposfera urbană

Așa cum s-a evidențiat anterior, urbanizarea modifică bilanțul energetic normal, respectiv cantitatea de energie solară absorbită de suprafața terestră, iar utilizarea acesteia este diferită. În meteorologie interesează în special regiunile spectrale ultravioletă, vizibilă și infraroșie, cărora le corespund cele mai mari cantități de energie radiantă.

În *zonele rurale* căldura din timpul zilei este în mare parte utilizată pentru evaporarea apei. În *oraș*, conținutul de umiditate este mult mai scăzut, deoarece evaporarea nu se mai produce în aceeași măsură. Diferența de căldură este înmagazinată de beton, asfalt, de construcții în general. Ea este restituită în timpul nopții încetinind astfel scăderea temperaturii în zonele urbane [13]. La această cantitate de căldură cedată se adaugă și căldura provenită din activitățile industriale, traficul rutier, climatizarea și ventilarea mecanică a clădirilor, precum și din activitățile domestice. Nu puține au fost situațiile când în același timp s-au înregistrat ploi în zona centrală și ninsori în zonele rurale adiacente. Aceasta este și explicația scăderii în zonele urbane a numărului anual de zile cu îngheț.

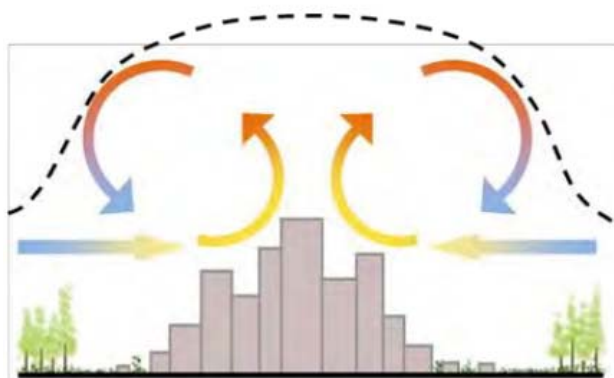


Fig. 1. Circulația maselor de aer – troposfera urbană

Circulația maselor de aer specifică insulei de căldură (figura 1), caracterizată prin ascendențe în zona centrală (stratul limită atmosferic se ridică) și coborâre spre periferie, favorizează aflusul de aer rece și mai curat spre oraș, determinând o îmbunătățire ușoară a aerului în zona centrală, dar și o creștere a poluării de fond în zonele periurbane (briza rurală).

În același timp, temperaturile ridicate din zona centrală favorizează descompunerea rapidă a numeroaselor deșeuri organice menajere, ale căror emisii toxice afectează chimia atmosferei urbane.

Poluanții sub formă de particule și gaze, precum și aerosolii mai numeroși în atmosfera urbană absorb sau difuzează o parte din radiația solară incidentă, efectul constând într-o reducere a radiației solare înregistrată la nivelul solului. Acest lucru determină o posibilă creștere a duratei de persistență a unui strat de inversiune termică și implicit vor fi împiedicate dispersia poluanților și autopurificarea atmosferei.

Albedoul terestru ca și raport dintre energia reflectată prin difuzie și energia incidentă este variabil în timp. El depinde de aspectul orașului: prezența spațiilor verzi, culorile pereților și acoperișurilor clădirilor. Străzile absorb radiația, o parte este reflectată pe pereți și pătrunde în interiorul clădirilor (figura 2).

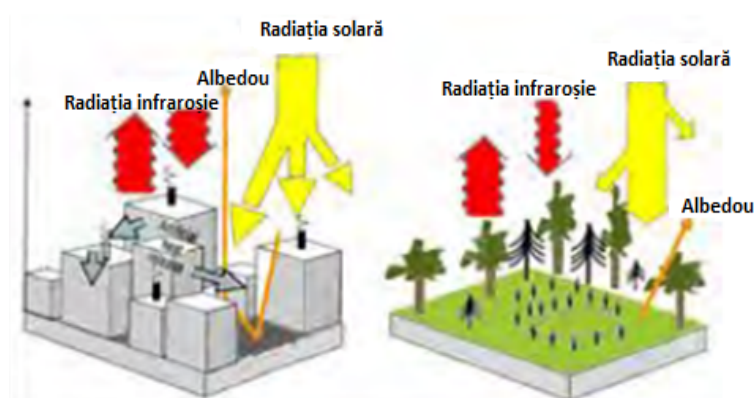


Fig. 2. Transferul radiativ în troposfera urbană/rurală

În cazul unei străzi înguste, soarele nu poate să pătrundă decât în mică măsură și implicit absorbția este mai slabă. În cazul unui bulevard, reflexia pereților este mai slabă, iar stratul care asigură acoperirea carosabilului joacă un rol important. În concluzie, albedoul orașelor este mai mic decât cel din zonele rurale cu cca. 16 % [13].

În ecuația de bilanț energetic (1) se regăsesc următorii termeni:

$$Q^* + Q_P = Q_H + Q_E + Q_S \quad (1)$$

- Q^* – radiația la nivelul suprafeței terestre;
- Q_P – energia antropică;
- Q_H – căldură sensibilă sau perceptibilă (energie care încălzește prin conducție și convecție straturile inferioare de aer);
- Q_E – căldură latentă (energia conținută în apa evaporată);
- Q_S – căldura acumulată în principal de elementele exterioare ale construcțiilor.

Energia antropică este caracteristică orașului. Aceasta este mult mai importantă în perioada rece a anului și are următoarele componente principale: încălzirea rezidențială, circulația urbană, industria, iluminatul exterior și metabolismul uman [13].

Căldura latentă de vaporizare, adică energia consumată pentru evaporarea apei, este mai mică în oraș. În zonele rurale, în perioada ploilor, apa se infiltrează în sol, iar ulterior se evaporă și se întoarce în atmosferă. Consumul energetic pentru evaporare

este de cca. 2500 kJ/kg apă evaporată la 0°C și 2407 kJ/kg la 40°C. Într-un oraș cu spații verzi tot mai puține, cu multe suprafețe impermeabile, apa rezultată din ploi se scurge pe acoperișuri și șosele, dispare ulterior în rețeaua de canalizare și apoi direct în râuri. Urmarea constă într-o evaporare mult mai redusă. Această reducere a căldurii latente de evaporare depinde în primul rând de topografia urbană. *În orașe*, unde suprafața este în mare parte impermeabilă, căldura latentă utilizată nu reprezintă decât o mică parte a celei rezultate prin procesul de *evapotranspirație* (fenomenul de pierdere combinată a umidității solului prin evaporare directă și prin transpirația plantelor) specific mediului înconjurător. Acest lucru duce la o creștere substanțială a căldurii sensibile, care încălzește straturile atmosferice joase. *Aceasta este cauza principală a formării insulelor de căldură urbane*. Insulele de căldură apar în special noaptea.

3. Evoluția parametrilor climatici în zone cu densități diferite de populație – Studiu de caz pentru municipiul București

Municipiul București are o suprafață de 228 km² (0,8 % din suprafața României), din care suprafața construită este de 70% [14]. Climatul este de tip temperat – continental cu tendințe de excesivitate. Capitala României face parte din sectorul climatic al Câmpiei Române și al Luncii Dunării.

Temperatura medie anuală a aerului este de 10,5°C. Administrația Națională de Meteorologie are amplasate pe teritoriul municipiului București trei stații meteorologice, dispuse atât în zona centrală, cu densitate mare de populație (București-Filaret), cât și spre periferie (București – Băneasa) și zona periurbană (București-Afumați). Normalele climatologice pentru cele trei stații și pentru intervalul de referință 1961-1990 sunt: 10,5 °C (București-Filaret), 10,6 °C (București – Băneasa) și 11,2 °C (București-Afumați) [15].

În continuare sunt prezentate sintetic evoluțiile parametrilor meteorologici strâns legați de fenomenul insulei de căldură: temperatură medie anuală (figura 3) și cantitate anuală de precipitații (figura 4).

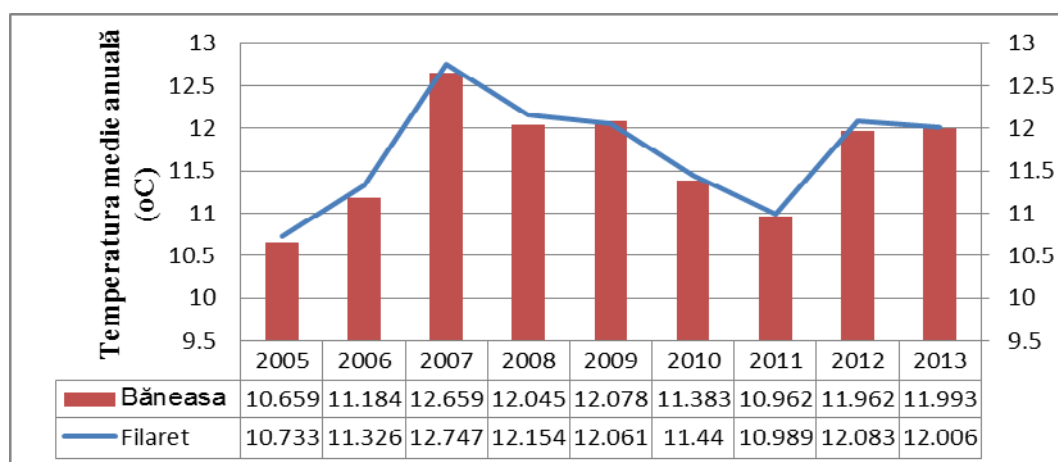


Fig. 3. Variația temperaturii medii anuale

Baza de date necesară realizării acestui studiu este rezultatul prelucrării statistice a datelor obținute din măsurătorile continue cu pas zilnic de timp [16], efectuate în intervalul 2005-2013, într-o zonă centrală a municipiului București (Filaret) și una periferică (Băneasa).

Din analiza variației temperaturii medii anuale la cele două stații a rezultat faptul că:

- În intervalul de timp ce a făcut obiectul analizei, la ambele stații s-au înregistrat depășiri ale normalelor climatologice;
- Temperatura medie anuală la stația amplasată în centrul municipiului București a fost în toți anii ușor mai mare decât cea înregistrată la periferie; diferența nu foarte mare se datorează și traficului rutier ce caracterizează ambele zone.

Precipitațiile atmosferice - reprezintă un parametru meteorologic important în evaluarea calității atmosferei, prin efectul de spălare a aerului în troposfera inferioară, unde se desfășoară activitățile umane.

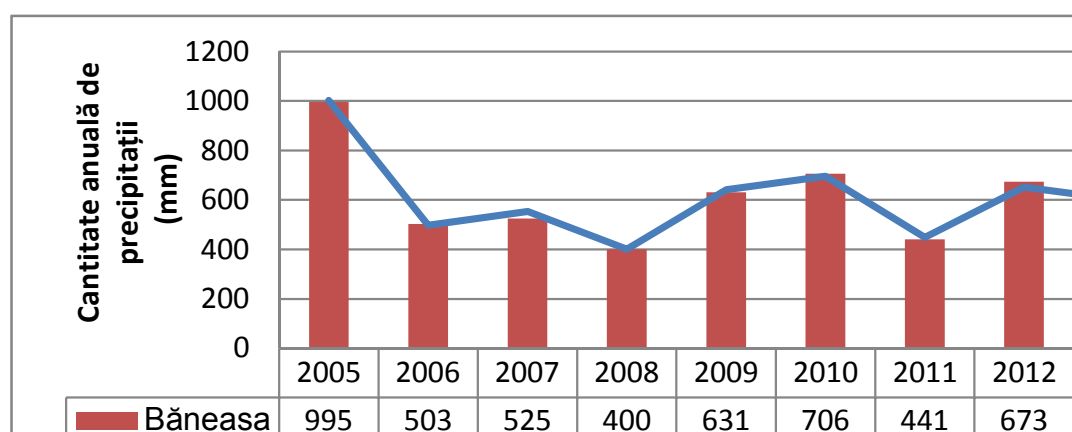


Fig. 4. Variația cantității anuale de precipitații

Se poate observa din figura 4 că în cei mai mulți ani din perioada ce face obiectul analizei, cele mai mari cantități medii anuale de precipitații au căzut în zona centrală, cu densitate mare de populație (ex. anul 2005 - 1002 mm la stația București-Filaret), fiind favorizat transferul poluanților din aer și de pe suprafața solului spre rețeaua de canalizare și apoi spre sistemele acvatice. Explicația ar fi și cantitatea mare de poluanți sub formă de pulberi cu rol de nuclee de condensare.

Cantitățile de precipitații puțin mai mari din zona centrală se datorează și puternicei instabilități a maselor de aer influențată de topografia complexă a urbanului (cauză a apariției insulei de căldură urbane).

Se vor analiza în continuare temperaturile maxime (figura 5) și minime (figura 6) înregistrate în intervalul 2006-2015, în zile apropiate, la aceleași două stații [15].

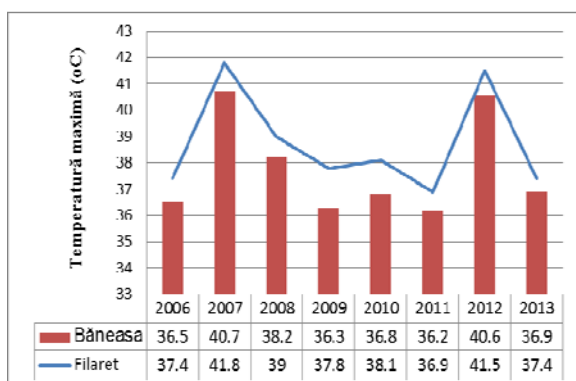


Fig. 5. Variația temperaturii maxime

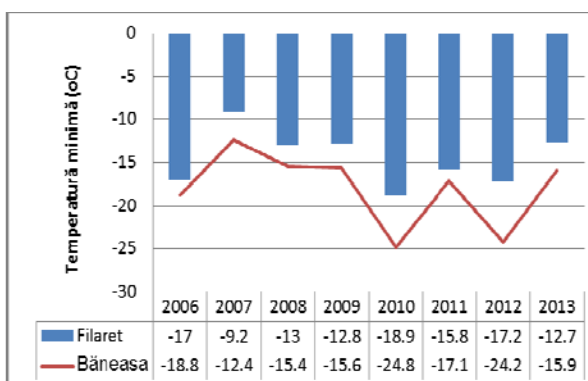


Fig. 6. Variația temperaturii minime

Analizând comparativ rezultatele măsurătorilor efectuate la cele două stații, se poate evidenția faptul că valorile corespunzătoare temperaturilor maxime și minime anuale sunt ușor mai mari în cazul stației amplasate în zona centrală (există mai multe surse de energie termică).

Astfel, în cazul municipiului București se înregistrează variații pozitive ale mediilor climatologice multianuale și influența spațiilor construite este evidentă. Acest lucru evidențiază prezența fenomenului de insulă de căldură urbană, ce cuprinde o mare parte a intravilanului acestei aglomerări urbane caracterizată printr-o densitate mare de populație.

Un alt element important în analiza insulei de căldură urbane ar fi zilele cu ceață. Prelucrându-se datele corespunzătoare intervalului 1973-2017 [17], se observă faptul că numărul de zile cu ceață este ușor mai mare în zona urbană (București - Băneasa) față de cea periurbană (București - Afumați) (figura 7).

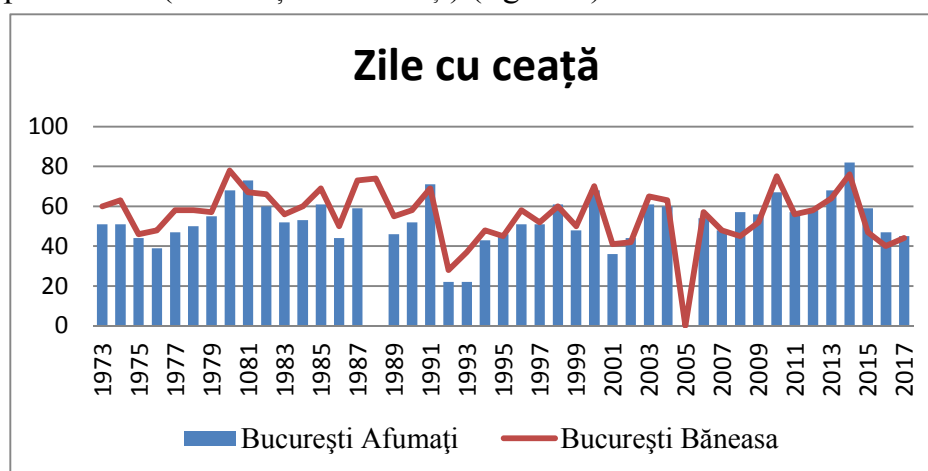


Fig. 7. Numărul mediu de zile cu ceață

Explicația constă în existența unui nivel de poluare cu particule cu rol de nuclee de condensare mai mare în zona urbană, în condițiile în care temperatura punctului de rouă înregistrează la ambele stații valori apropiate.

Sub efectul încălzirii globale și al fenomenului de insulă de căldură urbană, marile orașe ar putea înregistra o creștere suplimentară a temperaturii de 7°C sau chiar 8°C până în 2100 [18]. Aproximativ 5°C ar fi atribuite încălzirii globale, iar restul ar proveni de la fenomenul analizat în această lucrare.

4. Concluzii

- Insula de căldură urbană (ICU) - face orașul mai cald decât împrejurimile lui, accentuează canicula și valurile de căldură, crește consumul de energie pentru răcirea clădirilor, produce disconfort, îmbolnăviri și este însoțită de un aer mai poluat;
- ICU influențează negativ și ecosistemele situate mai departe de orașe;
- Zonele urbane tind să fie mai uscate decât cele rurale din cauza lipsei spațiului verde, existenței suprafețelor impermeabile și a sistemelor de drenaj urbane care elimină rapid apa din aceste zone;
- Diferența dintre temperaturile urbane și cele rurale, măsurate la același moment de timp, depinde de densitatea populației, amenajarea teritoriului construit, în general de amploarea și diversitatea activităților antropice;
- Existența simultană a unei perioade caniculare și a unor emisii importante de NO_x și COV (rezultate în special din traficul rutier intens înregistrat în centrul orașului) sunt cauzele principale ale apariției unui episod de smog fotochimic însoțit de creșterea concentrației de O₃ troposferic;
- Analiza valorilor parametrilor meteorologici măsurați în municipiul București a evidențiat o intensificare a efectelor negative ale fenomenului de insulă de căldură urbană;
- Evaluarea temporală și spațială a insulelor de căldură urbane și a strategiilor de punere în aplicare a planurilor de atenuare a acestora devin din ce în ce mai importante pentru agențiile guvernamentale și cercetătorii din multe țări afectate.

Referințe

- [1] ***Institut Aménagement Urbanisme Ile de France (IAU îdF), “Adapter l’Île-de-France à la chaleur urbaine”, Septembre 2017
- [2] C. Coseo, L. Larsen, “How factors of land use/land cover, building configuration, and adjacent heat sources and sinks explain Urban Heat Islands in Chicago”, *Journal of Landscape and Urban Planning*, pp. 117–129, 2014
- [3] *** IPCC, 2014, Fifth Assessment Synthesis Report; <http://www.ipcc.ch/>
- [4] S.K. Jusuf, N. H. Wong, E. Hagen, R. Anggoro, Y. Hong, “The influence of land use on the urban heat island in Singapore”, *Journal of Habitat International*, **Vol. 31**, Issue 2, pp. 232-242, 2007
- [5] H. Wu, T. Wang, N. Riemer, P. Chen, M. Li, S. Li, “Urban heat island impacted by fine particles in Nanjing, China”, *Scientific reports* 7, 2017, <https://www.nature.com/articles/s41598-017-11705-z>

- [6] *S. Cheval, A. Dumitrescu, A. Bell*, “The urban heat island of Bucharest during the extreme high temperatures of July 2007”, *Theoretical and Applied Climatology*, 97(3), pp. 391-401, 2009
- [7] *O. Rotem-Mindali, Y. Michael, D. Helman, I.M. Lensky*, “The role of local land-use on the urban heat island effect of Tel Aviv as assessed from satellite remote sensing”, *Journal of Applied Geography* **Vol. 56**, pp. 145-153, 2015
- [8] *L. Kleerekoper, M. Esch, T.B. Salcedo*, “How to make a city climate, addressing the urban heat island effect”, *Journal of Resources, Conservation and Recycling* **Vol.64**, pp. 30– 38, 2012
- [9] *E.J. Gago, J. Roldan, R. Pacheco-Torres, J. Ordóñez*, “The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects”, *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews* **Vol. 25**, pp. 749–758, 2013
- [10] *I.C. Iojă*, “Metode și tehnici de evaluare a calității mediului în aria metropolitană a municipiului București”, Editura Universității București, 260 pag, 2009
- [11] *A. Mohajerani, J. Bakaric, T. Jeffrey-Bailey*, “*The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete*”, *Journal of Environmental Management* **Vol.197**, pp. 522-538, 2017
- [12] <http://www.agir.ro/buletine/2017.pdf>
- [13] *F. Ardelean*, „Elemente de meteorologie și climatologie”, Editura MATRIX ROM, ISBN 978 – 606 – 25 – 0073 – 3, 277 pagini, 2014
- [14] www.pmb.ro
- [15] ***Primăria Municipiului București, Planul Integrat de Calitate a Aerului în Municipiul București 2018-2022
- [16] *M.V. Birsan, A. Dumitrescu, A.*, “ROCADA: Romanian daily gridded climatic dataset (1961-2013) V1.0.” National Meteorological Administration, Bucharest, Romania, doi:10.1594/PANGAEA.833627, 2014
- [17] <https://en.tutiempo.net/climate/europe.html>
- [18] <https://www.green-report.ro/>

Optimizarea sistemelor de utilizarea a energiei solare pentru incalzirea spatiilor si prepararea apei calde in cladiri

Optimizing systems for the use of solar energy for space heating and hot water preparation in buildings

Drd. ing. Mugurel Talpiga¹, Drd. ing. Eugen Mandric²,
Prof. dr. Ing. Florin Iordache³

^{1,2}Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti
Facultatea de Inginerie a Instalatiilor
Bdul. Pache Protopopescu, 66, Romania
fliord@yahoo.com

Abstract. *Aim of this paper is energetic study of solar equipments used in heating and daily hot water of residential and commercial buildings. Identified most important unconventional system parameters have direct influence of the energetic performances. Hydraulic drawings of the system are presented and obtained results will be graphically plotted for heating and daily hot water preparation. Auxiliary source contain a classical thermal heating unit which provide necessary accumulated heat inside heat exchanger for heating thermal agent or daily hot water.*

Cuvinte cheie: energia solara, apa calda

Rezumat. *Lucrarea are ca obiectiv o analiza energetica asupra instalatiilor de utilizare a energiei solare pentru incalzirea spatiilor si prepararea apei calde pentru cladirile rezidentiale sau nerezidentiale. Sunt identificati parametrii importanti ai sistemului neconventional care au consecinte determinante asupra performantelor energetice. Se prezinta schemele constructive ale sistemelor neconventionale iar rezultatele obtinute se prezinta grafic in mod distinct atat pentru cazul utilizarii la incalzirea spatiilor cladirii cat si pentru prepararea apei calde. Sursa de rezerva este constituita de o centrala termica care alimenteaza dupa caz schimbatorul de caldura cu acumulare de incalzire a agentului termic sau de preparare a apei calde.*

Keywords: *solar energy, hot water*

1. Introducere

Asa cum este binecunoscut, utilizarea energiei solare pentru incalzirea spatiilor unei cladiri si pentru prepararea apei calde reprezinta astazi o solutie des adoptata pentru reducerea consumului de energie bazata pe combustibili fosili. De curand a fost

completata metodologia de evaluare a performantelor energetice ale cladirilor cu cateva capitole referitoare la utilizarea surselor regenerabile. Unul din capitole se refera la procedura de evaluare a performantelor energetice rezultate in urma utilizarii unei componente de tip bucla solara pentru preincalzirea agentului termic din instalatia de incalzire a cladirii sau/si de prepararea a apei calde de consum.

In cadrul lucrarii de fata se face o analiza energetica asupra performantelor sistemului neconventional termic de utilizare a energiei solare pentru incalzirea spatiilor cladirii si a prepararii apei calde de consum. Se cauta in primul rand identificarea parametrilor cu influenta dominanta asupra performantelor energetice si se analizeaza consecintele acestora.

2. Descrierea sistemului si a procedurii de evaluare a performantelor energetice

De la inceput trebuie mentionat faptul ca sistemul analizat este un sistem hibrid, avand ca sursa un cuplu compus din bucla solara si o sursa clasica, o centrala termica cuplata la schimbatorul de caldura cu acumulare la care este cuplata si suprafata de captare a energiei solare. In fig. 1 se prezinta o schema simplificata a sistemului in care consumatorul este instalatia de incalzire centrala a cladirii, iar in fig. 2 este schema simplificata a sistemului in care consumatorul este instalatia de alimentare cu apa calda.

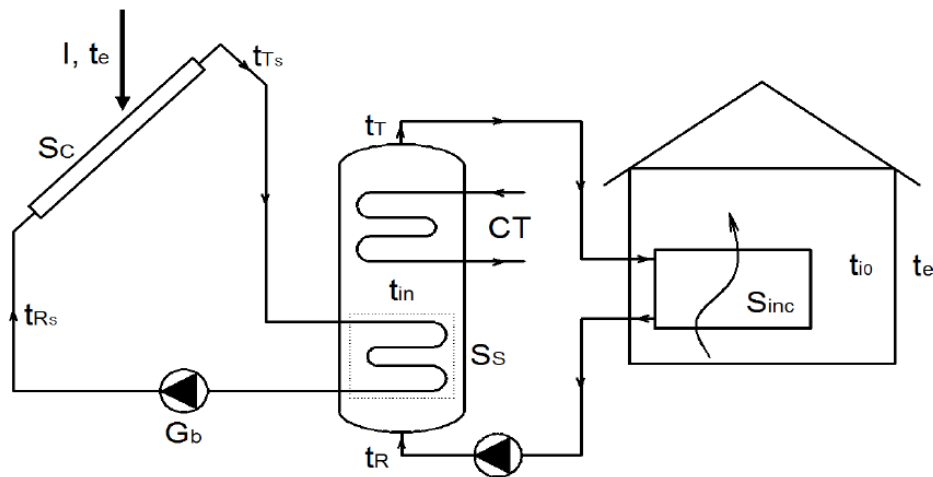


Fig. 1

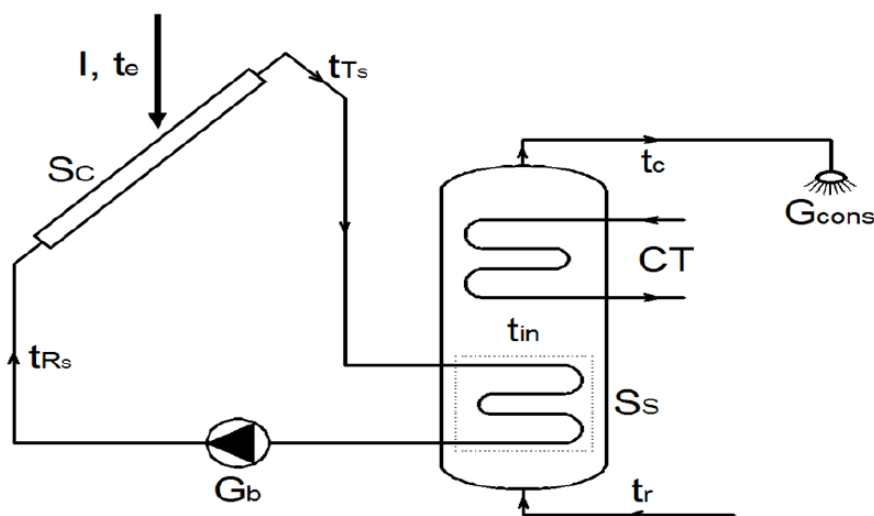


Fig. 2

O prima etapa din cadrul procedurii de evaluare a performantelor energetice oferite de bucla solara o reprezinta etapa de prelevare a datelor de configurare a sistemului termic neconventional de captare si livrare a energiei solare. Se inregistreaza datele constructive privind suprafata de captare a energiei solare (marime, orientare, parametrii fizici aferenti tipului de captatoare), date constructive privind schimbatorul de caldura cu acumulare cuplat la suprafata de captare (suprafata schimbator de caldura, volum de acumulare), date functionale – debitul de agent termic vehiculat in bucla de captare, precum si date privind cladirea deservita si instalatia de incalzire centrala a acesteia si de preparare a apei calde. O categorie de date importante este reprezentata de datele climatice aferente locatiei de amplasare a cladirii si ne referim aici la temperatura exterioara medie lunara si la intensitatea radiatiei solare medie lunara.

A doua etapa se refera la evaluarea parametrilor intermediari de lucru. Ne referim aici la evaluarea modulelor termice (forma exponentiala a numarului de unitati termice) aferenti suprafetei de captare solara (E_C), schimbatorului de caldura al buclei solare (E_S) si ansamblului buclei solare (E_{CS}). Tot aici se stabileste factorul de corectie (F_R^{BC}) necesar a fi aplicat in cadrul evaluarii randamentului buclei solare (η_{CC}) si gradului de acoperire energetica oferit de aceasta (G_{AET}). Acest factor de corectie se evalueaza in functie de factorul de corectie aferent buclei solare (F_R^B) si un factor de corectie aferent ansamblului sistemului – bucla solara cuplata la instalatia de incalzire centrala sau respectiv la instalatia de apa calda a consumatorului (F_R^C). In cadrul procedurii de evaluare a randamentului de lucru a componentei solare avand ca si consumator instalatia de incalzire centrala a cladirii mai apare un factor de corectie aferent strict modului de dimensionare a acestei instalatii (F_{INC}). Cei doi indicatori energetici mentionati si factorii de corectie prezentati sunt marimi adimensionale. Tot in etapa a doua se evalueaza si un factor de utilizare a energiei solare captate (f_u).

A treia etapa din cadrul procedurii, se refera la evaluarea efectiva a randamentului de captare a energiei solare si a gradului de acoperire energetica oferit

consumatorului. Tot in cadrul acestei etape se calculeaza si puterile si energiile lunare captate de sistemul neconventional, incidente pe suprafata de captare solara si necesare consumatorului deservit si la nivelul intregului an.

In cadrul lucrarii ne vom referi efectiv la cei doi indicatori energetici mentionati, care in cazul alimentarii instalatiei de incalzire centrala a consumatorului au forma:

- Randamentul buclei solare de captare :

$$\eta_{CC} = F_R^{BC} \cdot [(\alpha \cdot \tau) - k_C \cdot F_{INC} \cdot \beta_{REF}] \quad (1)$$

- Gradul de acoperire energetica termica :

$$G_{AET} = f_u \cdot F_R^{BC} \cdot \frac{(\alpha \cdot \tau)/k_C - F_{INC} \cdot \beta_{REF}}{\beta_{REF} \cdot H/(k_C \cdot S_C)} \quad (2)$$

iar, in cazul alimentarii instalatiei de preparare a apei calde :

- Randamentul buclei solare de captare :

$$\eta_{CC} = F_R^{BC} \cdot [(\alpha \cdot \tau) - k_C \cdot \beta_{REF}] \quad (3)$$

- Gradul de acoperire energetica termica :

$$G_{AET} = \frac{P_{CP}}{P_{CONS}} = \frac{f_u \cdot F_R^{BC} \cdot (\alpha \cdot \tau/k_C - \beta_{REF}) \cdot I}{1,163 \cdot G_{CONS}/(k_C \cdot S_C) \cdot (t_e - t_r)} \quad (4)$$

In relatiile (1)...(4) apare parametrul β_{REF} care cuprinde sintetic 3 date externe si anume: temperatura interioara (in cazul alimentarii instalatiei de incalzire centrala) sau temperatura apei reci (in cazul alimentarii instalatiei de apa calda), temperatura exterioara si intensitatea radiatie solare ca elemente climatice si ambientale externe sistemului hibrid – cladire, in ansamblul sau.

Observand structura celor doi indicatori energetici prezentati in relatiile (1) si (2) referitoare la instalatia de incalzire a consumatorului s-au apreciat ca influenti asupra performantelor energetice ale sistemului neconventional urmatorii parametrii :

- k_C – coeficientul global de transfer termic al captatoarelor solare utilizate;
- $H/(k_C \cdot S_C)$ – raportul intre capacitatea de transfer termic a cladirii si cea a suprafetei de captare solara;
- t_{TO}/t_{RO} – grupul temperaturilor nominale (de calcul) ale agentului termic utilizate la dimensionarea instalatiei de incalzire centrala a consumatorului;
- parametrii climatici lunari, reprezentativi pentru localitatea in care este amplasata cladirea – intensitatea radiatie solare (I) si temperatura exterioara (t_e);

In ceea ce priveste instalatia de alimentare cu apa calda, la fel, observand structura celor doi indicatori energetici prezentati in relatiile (3) si (4) s-au apreciat ca influenti asupra performantelor energetice ale sistemului neconventional urmatorii parametrii :

- k_C – coeficientul global de transfer termic al captatoarelor solare utilizate;
- $1,163 \cdot G_{CONS} / (k_C \cdot S_C)$ – raportul intre capacitatea de transfer termic a instalatiei de prepararea a apei calde aferente cladirii si cea a suprafetei de captare solara;
- t_r/t_c – grupul temperaturilor de calcul pentru apa calda consumata;
- parametrii climatici lunari, reprezentativi pentru localitatea in care este amplasata cladirea – intensitatea radiatie solare (I) si temperatura exterioara (t_e);

In fiecare din situatii s-a definit si un coeficient de performanta energetica a sistemului neconventional in ansamblu (COP_{sys}) prin raportarea consumului energetic anual la consumul anual de combustibil fosil. S-a considerat ca centrala termica utilizata ca sursa de rezerva lucreaza cu un randament de 90%.

3. Prezentarea rezultatelor analizei energetice

Pentru coeficientul global de transfer termic al captatoarelor solare utilizate (k_C), s-au considerat valorile: 2, 3 si 4 $W/m^2.K$. Valoarea cea mai mica corespunde unor captatoare solare performante iar valoarea cea mai mare unor captatoare solare slab performante.

Pentru raportul intre capacitatea de transfer termic a cladirii si cea a suprafetei de captare solara ($H/(k_C \cdot S_C)$), s-au considerat valorile 0,4, 1,0 si 1,6. Acest raport reflecta gradul in care capacitatea de transfer termic a cladirii este acoperita mai mult sau mai putin cu o capacitate de transfer termic aferenta suprafetei de captare.

Pentru raportul intre capacitatea de transfer termic a instalatiei de preparare a apei calde a cladirii si cea a suprafetei de captare solara ($1,163 \cdot G_{CONS} / (k_C \cdot S_C)$), s-au considerat tot valorile 0,4, 1,0 si 1,6. Acest raport reflecta gradul in care capacitatea de transfer termic a instalatiei de alimentare cu apa calda este acoperita mai mult sau mai putin cu o capacitate de transfer termic aferenta suprafetei de captare.

Setul temperaturilor de calcul utilizate la dimensionarea instalatiei de incalzire centrala a consumatorului a fost considerat de asemenea in 3 variante si anume: 90/70, 70/50 si 50/30°C. Prima varianta mentionata corespunde unei suprafete a instalatiei de incalzire mai reduse, iar ultima varianta corespunde unei suprafete a instalatiei de incalzire sensibil mai mari favorabila utilizarii energiei solare.

Setul temperaturilor de calcul utilizate la dimensionarea instalatiei de incalzire centrala a consumatorului poate si el fi considerat de asemenea in mai multe variante si anume: $t_c/t_r = 65/15$, $55/15$ si $45/15^\circ C$. Prima varianta mentionata corespunde unor cerinte de apa calda pentru spalatul vaselor, iar a treia varianta corespunde unor cerinte de apa calda numai pentru spalatul corpului. In prezentul material se analizeaza numai varianta medie $t_c/t_r = 55/15^\circ C$.

Parametrii climatici (intensitatea radiatie solare si temperatura exterioara) au fost considerate distinct pentru cele 5 zone ale Romaniei pentru incalzire. Valorile de temperatura exterioara sunt insa seturile de temperaturi exterioare medii lunare aferente celor 5 zone.

a. Cazul utilizatorului tip instalatie de incalzire centrala

In fig. 3 se prezinta dependenta celor 3 indicatori energetici mentionati functie de k_C pentru zona climatica 2. Raportul $H/(k_C \cdot S_C)$ s-a considerat avand valoarea 1 iar setul temperaturilor de calcul ale agentului termic este $t_{T0}/t_{R0} = 50/30^\circ\text{C}$. Randamentul de captare si gradul de acoperire energetica trebuie citite pe scara din stanga iar coeficientul de performanta al sistemului in ansamblu trebuie citit pe scara din dreapta.

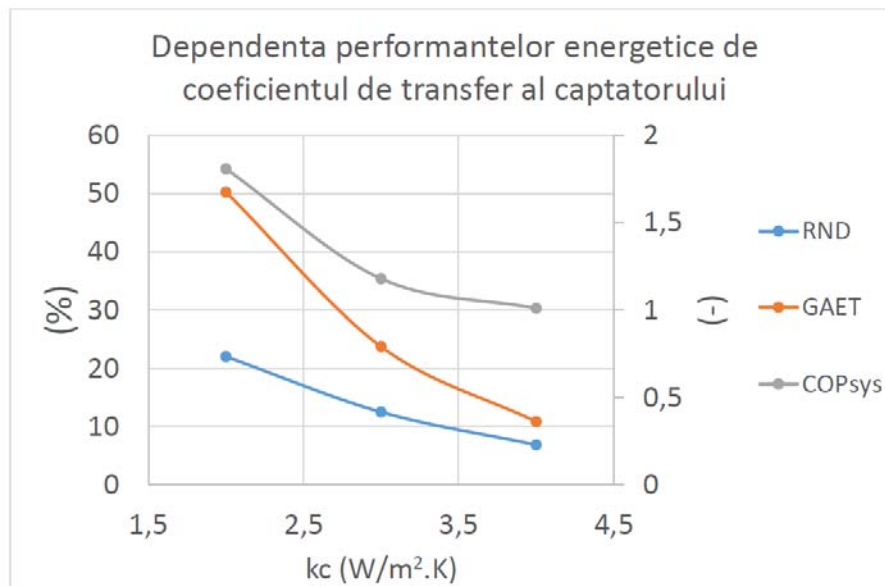


Fig. 3

Din fig. 3 se observa cum cresterea coeficientului k_C conduce la scaderea performantelor energetice exprimate prin toti cei 3 indicatori: randament, grad acoperire energetica si coeficient de performanta energetica sistem. Rezulta de aici ca pentru incalzirea spatiilor trebuie in general utilizate captatoare solare de calitate, caracterizate de valori scazute ale coeficientului k_C .

In fig. 4 se prezinta dependenta celor 3 indicatori energetici mentionati functie de raportul $H/(k_C \cdot S_C)$ pentru zona climatica 2. Coeficientul global de transfer termic k_C al suprafetei de captare a fost considerat pe valoarea $3 \text{ W/m}^2.\text{K}$, iar setul temperaturilor de calcul ale agentului termic este $t_{T0}/t_{R0} = 50/30^\circ \text{C}$.

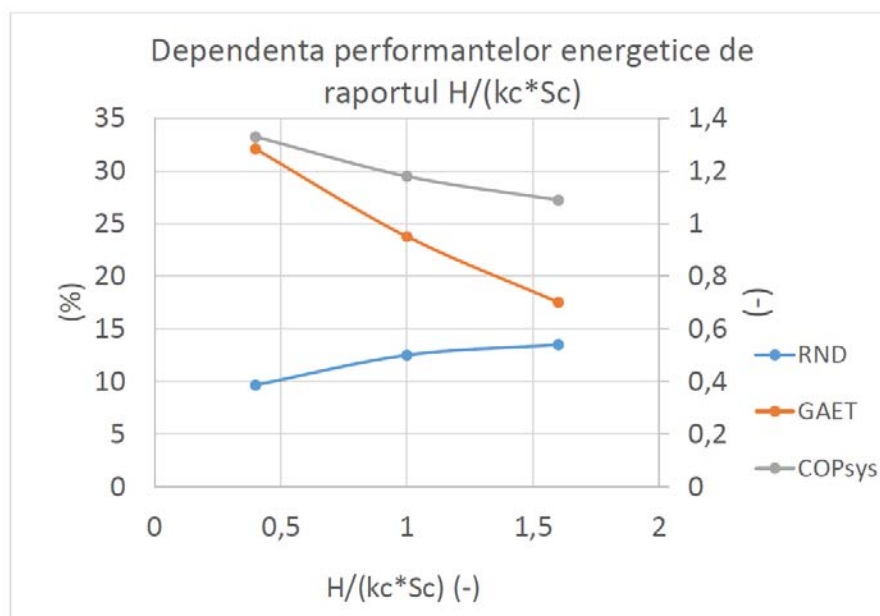


Fig. 4

Se observa ca gradul de acoperire energetica si coeficientul de performanta al sistemului scad odata cu cresterea raportului $H/(k_c \cdot S_c)$, in timp ce randamentul de captare creste.

In fig. 5 se prezinta dependenta celor 3 indicatori energetici mentionati functie de setul temperaturilor de calcul pentru instalatia de incalzire centrala a cladirii, pentru zona climatica 2. Coeficientul global de transfer termic k_c al suprafetei de captare a fost considerat pe valoarea $3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, iar raportul $H/(k_c \cdot S_c)$ s-a considerat avand valoarea 1.

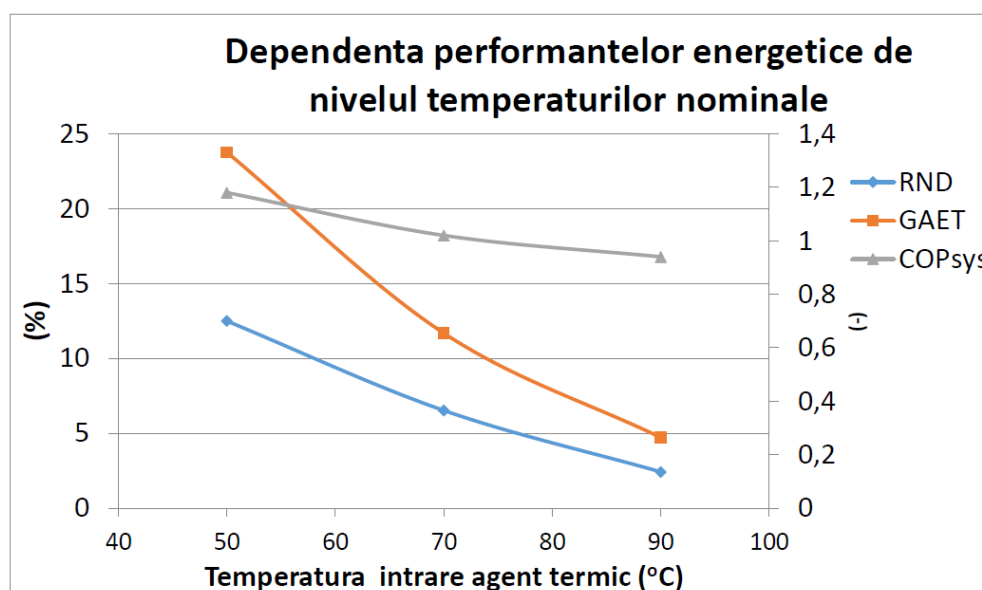


Fig. 5

Din fig. 5 se observa ca daca instalatia de incalzire centrala a fost dimensionata la un set de temperaturi ale agentului termic mai ridicat atunci aceasta conduce la scaderea tuturor celor 3 indicatori de performanta energetica.

In fig. 6 se prezinta o analiza efectuata dupa localitatea in care se gaseste amplasata cladirea. Coeficientul global de transfer termic al suprafetei de captare k_C s-a considerat avand valoarea 3, raportul $H/(k_C \cdot S_C) = 1$ si $t_{T0}/t_{R0} = 50/30^\circ\text{C}$.

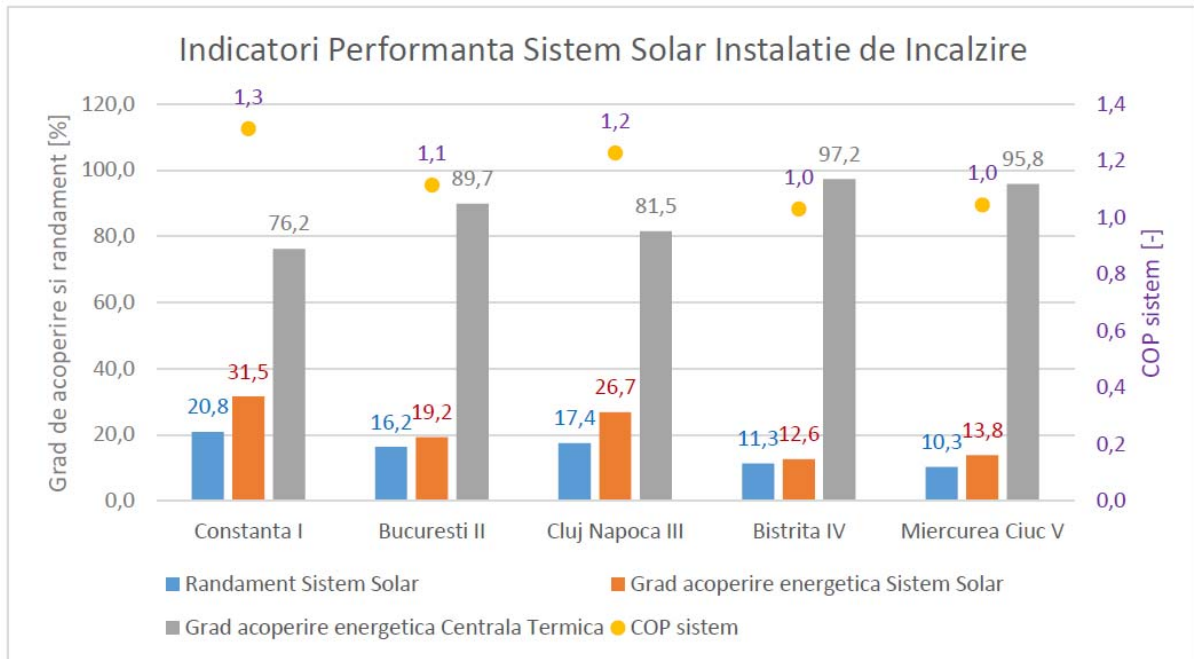


Fig. 6

Se observa cum zona I (Constanta) este cea mai profitabila energetic, conducand la performantele cele mai ridicate ale celor trei indicatori mentionati.

b. Cazul utilizatorului tip instalatie de alimentare cu apa calda

In fig. 6 se prezinta dependenta celor 3 indicatori energetici mentionati functie de k_C pentru zona climatica 2. Raportul $1,163 \cdot G_{CONS}/(k_C \cdot S_C)$ s-a considerat avand valoarea 1 iar setul temperaturilor de calcul ale agentului termic este $t_c/t_r = 55/15^\circ\text{C}$. Randamentul de captare si gradul de acoperire energetica trebuie citite pe scara din stanga iar coeficientul de performanta al sistemului in ansamblu trebuie citit pe scara din dreapta.

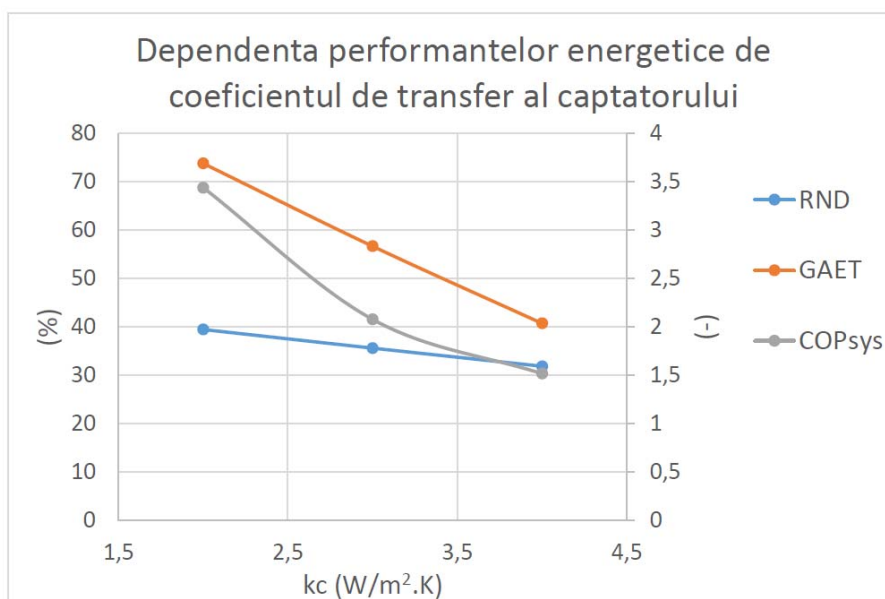


Fig. 7

Din fig. 7 se observa cum cresterea coeficientului k_c conduce la scaderea performantelor energetice exprimate prin toti cei 3 indicatori: randament, grad acoperire energetica si coeficient de performanta energetica sistem. Rezulta de aici ca pentru prepararea apei calde trebuie in general utilizate captatoare solare de calitate, caracterizate de valori scazute ale coeficientului k_c .

In fig. 8 se prezinta dependenta celor 3 indicatori energetici mentionati functie de raportul $1,163 \cdot G_{CONS} / (k_c \cdot S_c)$ pentru zona climatica 2. Coeficientul global de transfer termic k_c al suprafetei de captare a fost considerat pe valoarea $3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, iar setul temperaturilor de calcul ale agentului termic este $t_c/t_r = 55/15^\circ\text{C}$.

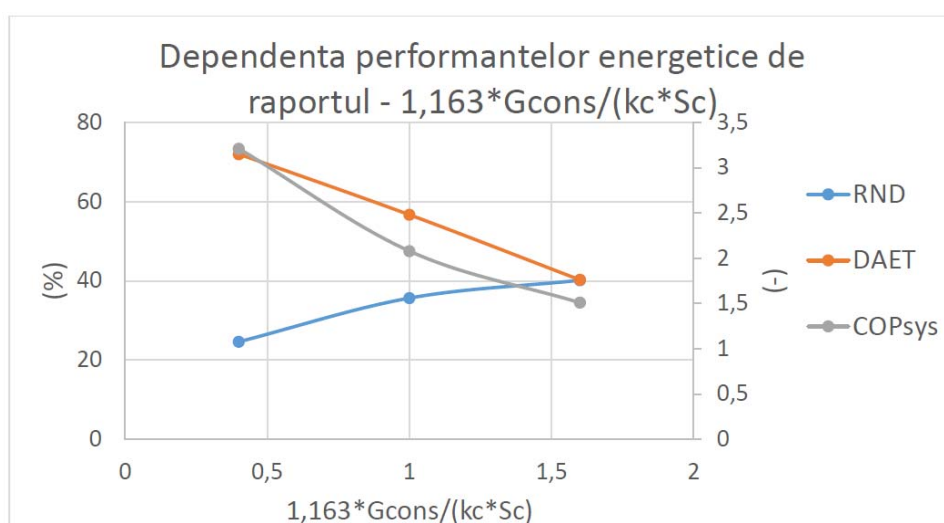


Fig. 8

Se observa ca gradul de acoperire energetica si coeficientul de performanta al sistemului scad odata cu cresterea raportului $1,163 \cdot G_{\text{CONS}} / (k_C \cdot S_C)$, in timp ce randamentul de captare creste.

In fig. 9 se prezinta o analiza efectuata dupa localitatea in care se gaseste amplasata cladirea. Coeficientul global de transfer termic al suprafetei de captare k_C s-a considerat avand valoarea 3, raportul $1,163 \cdot G_{\text{CONS}} / (k_C \cdot S_C) = 1$ si $t_c/t_r = 55/15$ °C.

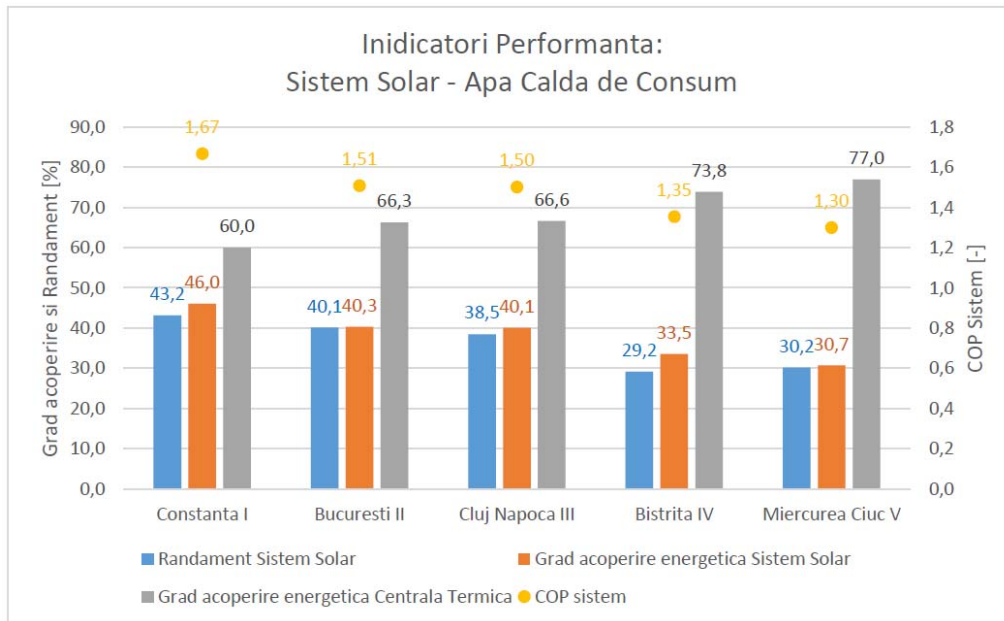


Fig. 9

Se observa cum zona I (Constanta) este cea mai profitabila energetic, conducand la performantele cele mai ridicate ale celor trei indicatori mentionati.

4. Concluzii

O prima remarca se poate face daca se analizeaza comparativ figurile 4 si 8 in care parametrul de analiza este raportul intre capacitatea de transfer a consumatorului si cea a suprafetei de captare. In cazul prepararii apei calde indicatorii energetici sunt net superiori fata de cazul instalatiei de incalzire ceea ce conduce la concluzia ca in cazul instalatiei de incalzire raportul $H / (k_C \cdot S_C)$ ar trebui sa ia valori intr-un domeniu cu valori mai scazute.

Analiza efectuata asupra celor trei indicatori de performanta energetica este general valabila pentru sistemele neconventionale hibride de utilizare a energiei solare pentru incalzirea cladirilor.

Rezultatul calitativ al analizei prezentate poate capata un aspect cantitativ concret daca se introduce valoarea efectiva a suprafetei de captare solara. Se obtine cantitatea lunara si sezoniera de energie captata, iar daca se introduce si capacitatea de

Optimizarea sistemelor de utilizare a energiei solare pentru încălzirea spațiilor și prepararea apei calde în clădiri transfer termic a clădirii deservite se obține cantitatea efectivă de energie termică lunară și sezonieră salvată.

Investițiile făcute în componenta neconvențională pot fi puse în balanță cu beneficiile economice obținute, rezultând varianta optimă de implementare a unui astfel de sistem neconvențional de utilizare a energiei solare cu sursă de rezervă.

Lista de Notatii

α - coeficientul de absorbție al plăcii captatorului, -;
 τ - coeficientul de transparență al elementului vitrat al captatorului, -;
 S_c - suprafața totală a captatoarelor solare utilizate de sistem, m^2 ;
 k_C - coeficientul global de transfer termic al captatorilor solari, $W/m^2.K$;
 t_{T0} - temperatura nominală a agentului termic la intrarea în instalația de încălzire centrală a consumatorului, $^{\circ}C$;
 t_{R0} - temperatura nominală a agentului termic la ieșirea din instalația de încălzire centrală a consumatorului, $^{\circ}C$;
 t_{em} - temperaturi exterioare medii lunare, $^{\circ}C$;
 I - intensitatea globală a radiației solare pe planul suprafeței de captare, W/m^2 ;
 E_C - modulul termic al suprafeței de captare, -;
 E_S - modulul termic al schimbătorului de căldură al buclei solare, -;
 E_{CS} - modulul termic al buclei de captare solară, -;
 F_R^B - factor de corecție a fluxului termic captat de bucla solară, -;
 F_R^C - factor de corecție al fluxului termic captat datorat consumatorului, -;
 H - transmitanța clădirii, W/K ;
 G_{CONS} - debitul orar mediu zilnic de consum de apă caldă, l/h ;
 F_R^{BC} - factor de corecție a fluxului termic captat de sistemul compus din bucla solară și consumator, -;
 β_{REF} - parametrul termic sintetic la care este supus ansamblul compus din bucla solară de captare și consumator, $m^2.K/W$;
 η_{CC} - randamentul buclei de captare solară, -;
 f_u - factorul de utilizare al energiei captate, -;
 G_{AET} - gradul de acoperire energetică termic al buclei solare, -;
 F_{INC} - factor adimensional de corecție, aferent instalației de încălzire a clădirii -

Bibliografie

1. Metodologia de evaluare a performanțelor energetice ale sistemelor neconvenționale de utilizare a energiei solare în clădiri - Sisteme solar termice din cadrul Mc001 revizuire – 2018;
2. Utilizarea energiei solare pentru încălzirea spațiilor și prepararea apei calde de consum. Evaluarea performanțelor energetice – Florin Iordache, Mugurel Talpiga, Eugen Mandric – Revista Romana de Inginerie Civila, volumul 9 (2018), nr 2, editura MatrixRom;

Sistem de utilizare a surselor regenerabile pentru încălzirea unei clădiri rezidențiale. Metoda de evaluare a performanțelor energetice. Analiza energetică

System for the use of renewable sources for heating a residential building.
Method of assessing energy performance. Energy analysis

Prof. dr. ing. Florin Iordache¹, Drd. Ing. Mugurel Talpiga²

^{1,2}Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti
Facultatea de Inginerie a Instalatiilor
Bdul. Pache Protopopescu, 66, Romania
fliord@yahoo.com

Rezumat. În lucrare se prezintă un sistem neconvențional de utilizare a surselor regenerabile care face apel la două componente neconvenționale: bucla solară și pompa termică, ambele fiind cuplate astfel încât să apeleze numai la sursa – energie solară. Pompa de căldură ridică potențialul termic al puterii solare captate și îi mărește volumul cu o cotă relativ mică. S-a investigat energetic acest tip de sistem dat fiind că există posibilitatea prelungirii perioadei de utilizare a energiei solare de la perioada de tranziție spre perioada de iarnă. Se prezintă o descriere a sistemului propus și modelarea proceselor de transfer termic corespunzătoare. De asemenea se prezintă și procedura de lucru efectiv în investigarea performanțelor energetice pe un studiu de caz. Rezultatele obținute sunt prezentate tabelar și grafic și se fac comentarii asupra oportunității unor astfel de sisteme.

Cuvinte cheie: energie solara, pompa de caldura, surse regenerabile

Abstract. This paper presents an unconventional system using energy renewable sources, consisting from two unconventional components: the solar loop and the heat pump, both of which being coupled to use only the solar energy source. The heat pump raises the thermal potential of the captured solar power and increases its value with a relatively small proportion. This type of system has been investigated energetically if there is the possibility of prolonging the period of use of the solar energy from the transition period to the winter period. In this paper is a description of the proposed system and the corresponding heat transfer processes equation modeling. Also presented is the actual working procedure to investigate energy performance on a case study. The results obtained are graphical displayed but also listed in a table and comments are made on the sustainability of such systems.

Key words: solar energy, heat pump, renewable sources

1. Introducere

Utilizarea energiei solare și utilizarea energiei mediului exterior ambiental reprezintă două din cele mai uzitate soluții neconvenționale adoptate în cadrul rezolvării utilităților aferente clădirilor. În cadrul lucrării de față, energia solară este captată prin intermediul unui câmp de captatoare solare. Puterea termică astfel rezultată este ridicată ca nivel al potențialului termic și ca nivel al cantității prin intermediul unei pompe termice apă-apă și transmisă agentului termic utilizat în instalația de încălzire a clădirii deservite. Desigur, în cadrul sistemului sursă analizat, se află și o sursă de rezervă de tip clasic, o centrală termică. Pe lanțul puterilor termice menționate, sursa solară și pompa de căldură pot fi considerate înseriate și de asemenea în continuare centrala termică.

Instalația de încălzire a clădirii este dimensionată corespunzător unui nivel scăzut al temperaturilor agentului termic (încălzire de joasă temperatură de pardoseală) astfel încât să ofere posibilitatea valorificării în cat mai mare măsura a surselor regenerabile.

Obiectivul de baza al lucrării este de stabilire a unei metode de evaluare a performanțelor energetice a unui astfel de sistem și de prezentare a unei analize energetice pe un studiu de caz.

2. Descrierea sistemului sursă. Modelarea proceselor de transfer

Sistemul sursă se compune din 2 secțiuni distincte: secțiunea neconvențională și secțiunea convențională. Secțiunea neconvențională se compune din 2 componente: componenta solară și pompa de căldură. Componenta solară are la rândul ei formată din două echipamente termice și anume: suprafața de captare a energiei solare și schimbătorul de căldură imersat în rezervorul de acumulare 1. Componenta pompa de căldură cu compresie este alcătuită de asemenea din 2 echipamente termice de tip schimbătoare de căldură: vaporizatorul și condensatorul. Componenta convențională este alcătuită din centrala termică care alimentează un schimbător de căldură imersat în rezervorul de acumulare 2, în care se prepară agentul termic vehiculat în instalația de încălzire centrală a consumatorului. (fig.1).

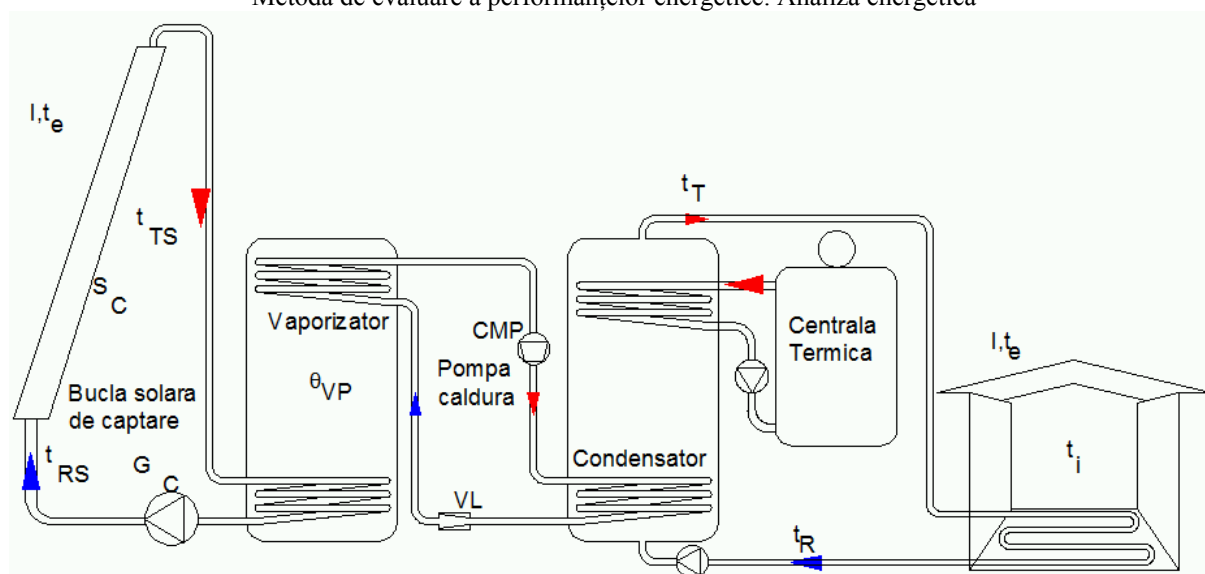


Fig. 1

Puterea termică captată de suprafața colectoarelor solare este livrată agentului termic din rezervorul de acumulare 1, de unde este preluat de vaporizatorul pompei termice și transferat mărit și la un potențial termic mai ridicat la condensatorul pompei de căldură în rezervorul de acumulare 2. În continuare puterea termică transmisă agentului termic din rezervorul de acumulare 2 de către secțiunea neconvențională este completată cu cota de putere suplimentară de către sistemul convențional până la atingerea puterii termice necesare instalației de încălzire a clădirii considerate la nivelul de temperatură conform graficului de reglaj termic calitativ (în acord cu temperatura exterioară).

Puterea termică captată de suprafața solară se poate exprima prin [3], [6]:

$$P_{CS} = S_C \cdot I \cdot \eta = S_C \cdot I \cdot F_R \cdot [(\alpha \cdot \tau) - k_C \cdot \beta_0] \quad (1)$$

Unde :

$$\beta_0 = \frac{t_{RS} - t_e}{I} \quad (2)$$

$$F_R = \frac{a \cdot \rho \cdot c}{k_C} \cdot (1 - E_C) \quad (3)$$

$$E_C = \exp(-NTU_C) = \exp\left(-\frac{F \cdot k_C}{a \cdot \rho \cdot c}\right) \quad (4)$$

În continuare se poate exprima temperatura de retur din buclă solară în funcție de temperatura medie a agentului termic din secundarul schimbătorului de căldură aferent buclei solare și relațiile (1) și (2) iau formele :

$$P_{CS} = S_C \cdot I \cdot \eta = S_C \cdot I \cdot F_R^B \cdot [(\alpha \cdot \tau) - k_C \cdot \beta_B] \quad (5)$$

Unde :

$$\beta_B = \frac{\theta_{VP} - t_e}{I} \quad (6)$$

$$F_R^B = \frac{a \cdot \rho \cdot c}{k_C} \cdot (1 - E_{CS}) \quad (7)$$

$$E_{CS} = \frac{E_C \cdot (1 - E_S) + E_S \cdot (1 - E_C)}{1 - E_C \cdot E_S} \text{ unde:} \quad (8)$$

$$E_S = \exp(-NTU_S) = \exp\left(-\frac{k_S}{a \cdot \rho \cdot c} \cdot \frac{S_S}{S_C}\right)$$

Mergând pe aceeași linie logică s-a exprimat temperatura medie a agentului termic pe secundarul schimbătorului de căldură solar în funcție de temperatura agentului termic la ieșirea din instalația de încălzire a clădirii. Sigur că pentru a realiza acest lucru s-a trecut prin pompa de căldură care a contribuit atât la creșterea puterii termice transferate de la vaporizatorul ei aflat imersat în rezervorul de acumulare 1 la puterea termică la condensator care se află imersat în rezervorul de acumulare 2. Relația de legătură între temperaturile medii ale agenților termici pe circuitele secundare ale vaporizatorului și condensatorului pompei de căldură este [4], [5]:

$$\theta_{VP} = A \cdot \theta_{CD} + B \quad (9)$$

Unde :

$$A = \left(1 - \frac{0.7}{COP_{CD}}\right) \quad (10)$$

$$B = \left[2 \cdot \Delta t - (273.15 + \Delta t) \cdot \frac{0.7}{COP_{CD}}\right]$$

Temperatura θ_{CD} este o temperatura medie a agentului termic din instalația de încălzire asociată condensatorului pompei de căldură. Și la fel în continuare s-a căutat exprimarea acestei temperaturi în funcție de temperatura de retur din instalația de încălzire a clădirii, ținându-se seama de faptul că secțiunea neconvențională a sursei acoperă doar o cotă parte din necesarul de căldură al clădirii G_{AE} . Rezultă în final:

Sistem de utilizare a surselor regenerabile pentru încălzirea unei clădiri rezidențiale.
Metoda de evaluare a performanțelor energetice. Analiza energetică

$$P_{CS} = S_C \cdot I \cdot \eta = S_C \cdot I \cdot F_R^{BC} \cdot [(\alpha \cdot \tau) - k_C \cdot \beta_{BC}] \quad (11)$$

Unde :

$$\beta_{BC} = \frac{t_R^* - t_e}{I} \quad (12)$$

$$F_R^{BC} = \left(\frac{1}{F_R^C} + \frac{1}{F_R^B} \right)^{-1} \quad (13)$$

Iar :

$$t_R^* = A \cdot t_R + B \quad (14)$$

$$F_R^C = 2 \cdot \frac{H}{S_C \cdot k_C} \cdot \frac{(t_{i0} - t_{e0})}{(t_{T0} - t_{R0})} \quad (15)$$

Puterea termică necesară a consumatorului se stabilește cu :

$$P_{INC} = H \cdot (t_{i0} - t_e) \quad (16)$$

Dat fiind că puterea termică pompată de către condensatorul pompei de căldură este o sumă între puterea termică captată de instalația solară și o cotă parte din puterea electrică absorbită de către motorul compresorului, procedura de lucru ar trebui să înceapă de la identificarea puterii termice nominale la condensatorul pompei de căldură, P_{CD} . Asta presupune totodată și adoptarea unui anumit grad de acoperire energetică, G_{AE} , ridicat pentru o temperatură exterioară dată (de exemplu $t_e = 0^\circ\text{C}$ sau -5°C , pentru care sunt valori superioare ale temperaturilor exterioare în 75% sau respectiv 93% din durata sezonului rece al anului). Gradul de acoperire energetică, G_{AE} se stabilește pe baza puterii termice nominale la condensatorul pompei de căldură:

$$G_{AE} = P_{CD} / P_{INC} \quad (17)$$

În continuare se stabilește temperatura la vaporizator θ_{VP} , puterea termică extrasă la vaporizatorul pompei termice P_{VP} (care este aceeași cu puterea solară captată, P_{CS}), puterea electrică P_{EL} și coeficientul de performanță al pompei de căldură COP_{CD} . Puterea furnizată de centrala termică, P_{CT} , s-a considerat ca fiind diferența până la puterea termică necesară a clădirii.

Concret, procedura practică de lucru presupune următorii pași:

a. Se stabilesc temperaturile de reglaj termic calitativ ale instalației de încălzire centrală a clădirii cu:

$$\begin{aligned} t_T &= \frac{t_{T0} - t_{e0}}{t_{i0} - t_{e0}} \cdot t_{i0} - \frac{t_{T0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{e0}} t_e \\ t_R &= \frac{t_{R0} - t_{e0}}{t_{i0} - t_{e0}} \cdot t_{i0} - \frac{t_{R0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{e0}} t_e \end{aligned} \quad (18)$$

b. Se stabilește temperatura medie din rezervorul de acumulare 1 cu:

$$\theta_{VP} = \frac{a \cdot b \cdot t_E + \left(\Delta t + \frac{F_R^B}{F_R^C} \cdot t_E - 273.15 \right) \cdot P_{CD}}{a \cdot b + \left(1 + \frac{F_R^B}{F_R^C} \right) \cdot P_{CD}} \quad (19)$$

unde:

$$a = t_R + 273.15 + \Delta t;$$

$$b = k_C \cdot S_C \cdot F_R^B;$$

c. Se stabilește puterea termică absorbită la vaporizatorul pompei termice cu:

$$P_{VP} = k_C \cdot S_C \cdot F_R^B \cdot (t_E - \theta_{VP}) \quad (20)$$

. Se stabilește coeficientul de performanță al pompei termice, COP_{CD} :

$$COP_{CD} = \frac{0.7 \cdot P_{CD}}{P_{CD} - P_{VP}} \quad (21)$$

e. Se calculează parametrul termic t_{ro}^* cu:

$$t_R^* = A \cdot t_R + B$$

unde:

$$A = \left(1 - \frac{0.7}{COP_{CD}} \right) \quad (22)$$

$$B = \left[2 \cdot \Delta t - (273.15 + \Delta t) \cdot \frac{0.7}{COP_{CD}} \right]$$

f. Se stabilește factorul de corecție F_R^{BC} și randamentul η de lucru al suprafeței de captare solară.

g. Se stabilește puterea electrică absorbită de motorul compresorului pompei termice, P_{EL} :

Sistem de utilizare a surselor regenerabile pentru încălzirea unei clădiri rezidențiale.
Metoda de evaluare a performanțelor energetice. Analiza energetică

$$P_{EL} = \frac{P_{CD} - P_{VP}}{0.7} \quad (23)$$

S-a considerat ca randamentul compresorului este, după cum se vede, 0,7.

3. Studiu de caz. Analiza energetică

Pentru evaluarea necesarului de căldură al spațiului interior al clădirii, s-a definit clădirea prin factorul de cuplaj termic complex al clădirii H , care cuprinde în el: suprafața anvelopei termice a clădirii, rezistența termică medie a anvelopei clădirii, numărul de schimburi de aer cu mediul exterior și volumul spațiului climatizat. Pentru evaluarea efectivă a necesarului de căldură s-a utilizat o procedură conformă cu metodologia de evaluare a performanțelor energetice ale clădirilor, Mc001. Temperatura exterioară de echilibru, t_{ee} , este o temperatură elaborată în ipoteza neutilizării instalației de încălzire, concomitent cu realizarea unei temperaturi interioare normate pe perioada sezonului rece al anului, t_{i0} . Pentru intensitatea radiației solare utile în evaluarea aporturilor exterioare de căldură în perioada sezonului cald atât pe plan vertical (diverse orientări) și pe plan orizontal s-a utilizat Mc001, iar pentru stabilirea temperaturilor exterioare medii lunare s-a utilizat SR 4839/1997. Astfel s-a considerat o clădire rezidențială colectivă având 16 apartamente de 3 camere caracterizată de o valoare $H = 2288 \text{ W/K}$. Sezonul rece al anului s-a considerat compus din 5 perioade (lunile noiembrie, decembrie, ianuarie, februarie și martie însumând 151 zile). Pentru aceste 5 perioade ale sezonului rece s-au stabilit temperaturile exterioare, t_e , și s-au calculat temperaturile exterioare de echilibru t_{ee} .

Suplimentar a mai fost necesar a se stabili suprafața de captare a energiei solare și unghiul de înclinare al acestora, orientarea fiind spre sud. Unghiul de înclinare al captatorilor solari a fost considerat 45° și pentru aceasta înclinare s-au stabilit intensitățile globale ale radiației solare. În tabelul 1 se prezintă sintetic câteva din datele de baza aferente clădirii și instalației solare. Suprafața de captare solară a fost considerată de 400 m^2 , captatoarele solare fiind caracterizate de următorii parametri: $F' = 0.9$, $\alpha = 0.9$, $\tau = 0.8$, $kC = 3.5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Tabel 1

	zi	W/m2	oC	oC
luna	Nr zile	I 45 S	t_e	t_{ee}
noi	30	98,37	5,99	14,04
dec	31	38,25	0	14,30
ian	31	54,9	-2,15	14,39
feb	28	81,24	0,34	14,28
mar	31	115,47	5,61	14,06
Total	151			

Așa cum s-a menționat, conform procedurii de lucru prezentate succint, puterea termică livrată de către condensatorul pompei de căldură s-a propus astfel încât temperatura rezultată la vaporizatorul pompei de căldură să scadă până la cca. 5° C. Cu aceasta condiție au fost stabilite valorile puterilor electrice absorbite de pompa de căldură cu compresie în fiecare din lunile sezonului rece considerat. Sigur din analiza energetică ce va fi prezentată în continuare.

În tabelul 2 se prezintă sintetic rezultatele obținute. Puterea termică captată de bucla solară, P_{cs} , este egală cu puterea termică absorbită la vaporizatorul pompei termice, P_{vp} . La aceasta se adaugă o cotă parte (70% în cazul prezentării de față) din puterea electrică absorbită din rețea de motorul compresorului, P_{el} și formează puterea termică livrată la compresorul pompei termice, P_{cd} , care reprezintă o cotă parte din puterea termică necesară spațiilor încălzite ale consumatorului, P_{inc} . În tabelul 2 alături de puteri se prezintă situația lunară a energiilor rezultate pe baza acestor puteri.

Tabel 2

	kW	kW	kW	kW	MWh	MWh	MWh		
luna	P_{inc}	P_{vp}	P_{el}	P_{ct}	E_{inc}	E_{vp}	$E_{el} +$	Gae vp	Gae el
noi	18,43	13,457	2,20	3,81	13,27	9,69	4,33	73,03	29,36
dec	32,71	2,243	0,37	33,57	24,34	1,67	25,25	6,86	93,36
ian	37,84	3,134	0,52	38,16	28,16	2,33	28,78	8,28	91,99
feb	31,90	8,053	1,35	25,45	21,44	5,41	18,01	25,24	75,60
mar	19,33	15,253	2,49	2,59	14,38	11,35	3,78	78,90	23,67
Total					101,58	30,45	80,15	29,97	71,01

O imagine mai clară o avem din reprezentarea grafică a valorilor prezentate în tabelul 2.

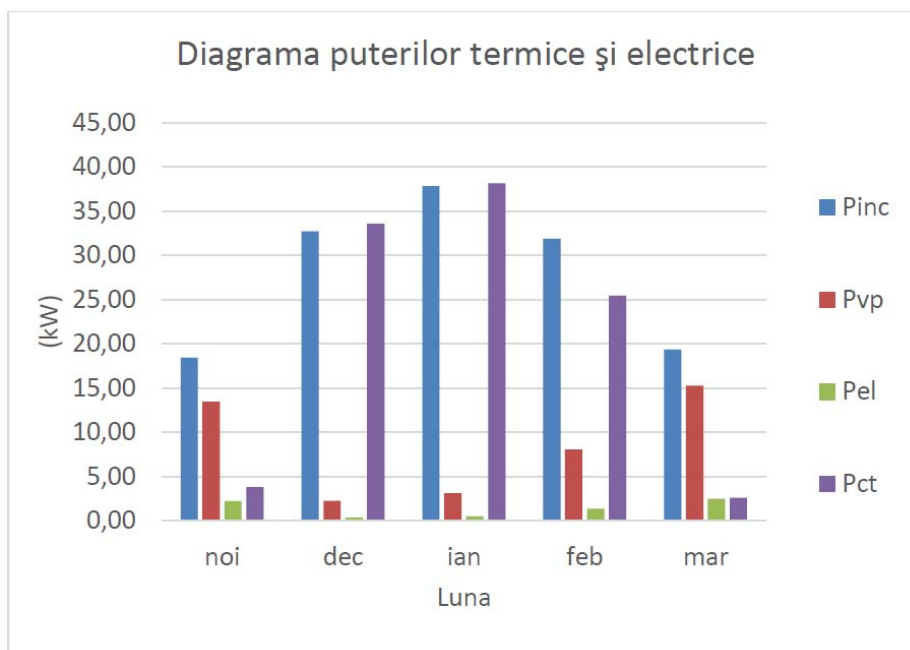


Fig. 2

Sistem de utilizare a surselor regenerabile pentru încălzirea unei clădiri rezidențiale.

Metoda de evaluare a performanțelor energetice. Analiza energetică

În fig. 2 se prezintă o diagramă a puterilor termice și electrice. După cum se observă o contribuție mai apreciabilă a secțiunii neconvenționale se regăsește în lunile noiembrie și martie și oarecum și în luna februarie. Sursa clasică este absolut necesară.

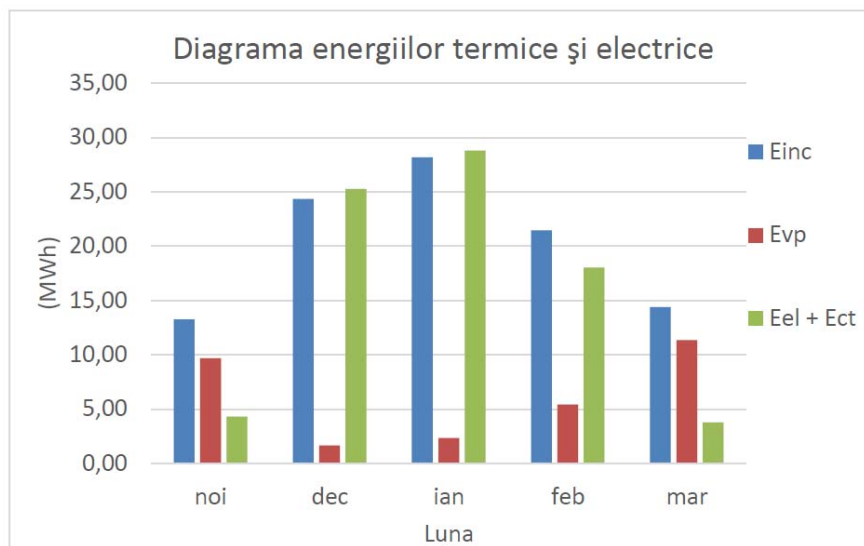


Fig. 3

În fig. 3 se prezintă diagrama energiilor termice și electrice rezultate pentru fiecare din cele 5 luni menționate. Înțelegem faptul că energia termică consumată de centrala termică este cu cca. 10% mai mare decât cea strict necesară datorită randamentului de lucru al centralei. La fel, energia electrică utilizată de compresorul pompei termice este cu cca. 40% mai mare decât cea strict regăsită la condensatorul pompei termice.

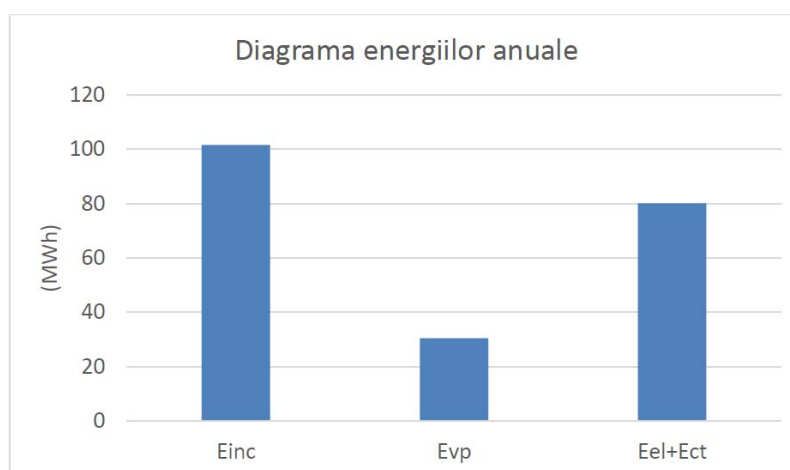


Fig. 4

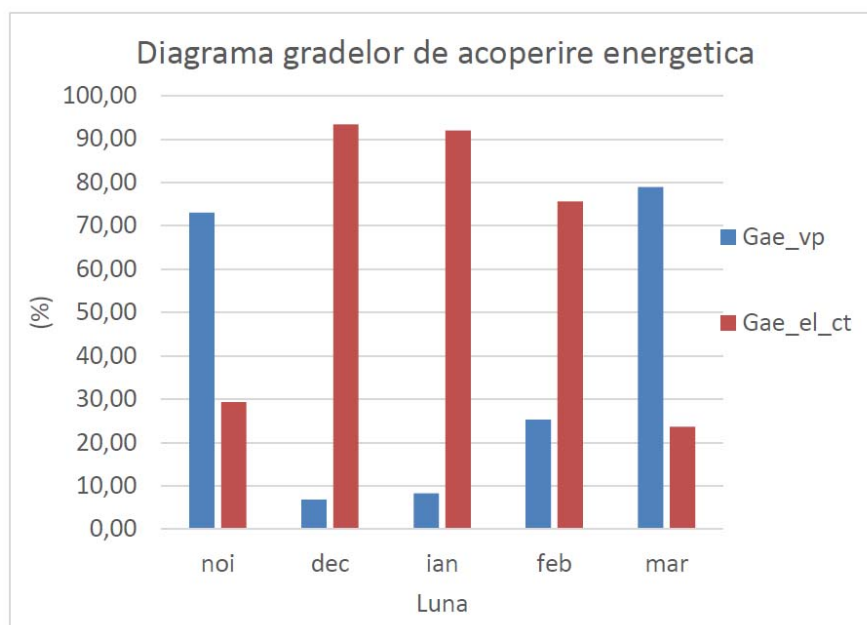


Fig. 5

Din fig. 5 se observă că în lunile noiembrie și martie gradul de acoperire energetică din surse regenerabile este strict mai mare decât cel corespunzător surselor clasice, iar în lunile din mijlocul sezonului rece situația este complet inversă.

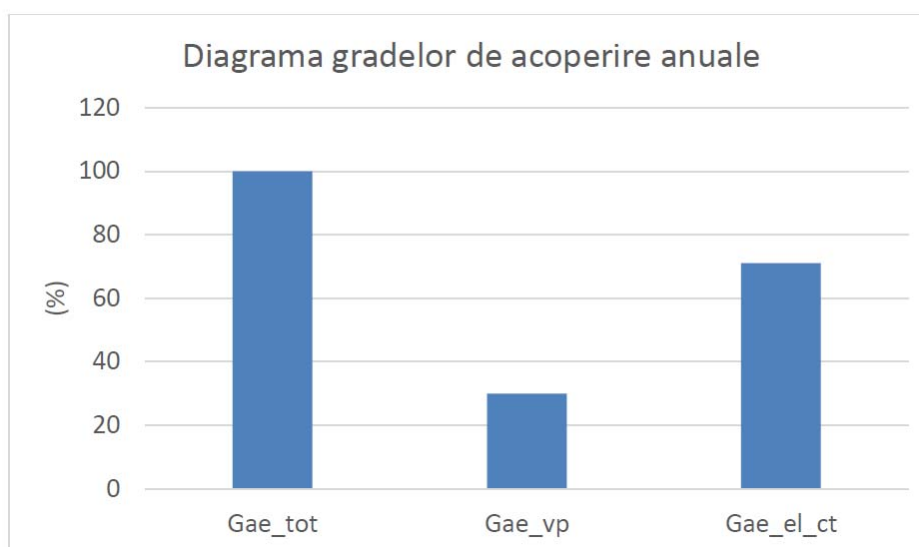


Fig. 6

Un bilanț pe întreg anul ne conduce la un grad de acoperire energetică de cca. 30% din surse regenerabile și cca. 70% din surse clasice.

4. Concluzii

Sistemul neconvențional de utilizare a surselor regenerabile prezentat face apel

la două componente neconvenționale: bucla solară și pompa termică, ambele fiind cuplate astfel încât să apeleze numai la sursa – energia solară. Pompa de căldură ridică potențialul termic al puterii solare captate și îi mărește volumul cu o cotă relativ mică. S-a investigat energetic acest tip de sistem dat fiind faptul că există posibilitatea prelungirii perioadei de utilizare a energiei solare de la perioada de tranziție spre perioada de iarnă. Rezultatele obținute, de cca. 30% acoperire energetică sunt realizate în ipoteza unor captatoare solare obișnuite, însă, rezultate superioare sunt ușor de prevăzut în cazul unor captatoare solare performante caracterizate de valori de cca. $2 \text{ W/m}^2\text{K}$, pentru coeficientul global de transfer termic. Puterea consumată de centrala termică ține seama de randamentul centralei termice care a fost considerat 90%. Randamentul de lucru al suprafeței de captare a oscilat în perioada sezonului rece între 10% în mijlocul perioadei reci și 35% în perioada de tranziție. Coeficientul de performanță al pompei termice a luat valori de cca. 6...7. Considerăm de asemenea că locația clădirii are o importanță foarte mare asupra rentabilității acestui tip de sistem.

Lista de Notății

t_T – temperatura de intrare a agentului termic în instalația de încălzire a clădirii, °C;
 t_{T0} – temperatura de intrare de calcul, a agentului termic în instalația de încălzire a clădirii, °C;
 t_R – temperatura de ieșire a agentului termic din instalația de încălzire a clădirii, °C;
 t_{R0} – temperatura de ieșire de calcul a agentului termic din instalația de încălzire a clădirii, °C;
 θ_{VP} - temperatura medie a agentului termic din secundarul schimbătorului de căldură aferent buclei solare, °C;
 t_{RS} - temperatura de retur din bucla solară, °C;
 t_e – temperatura exterioară, °C;
 t_{e0} – temperatura exterioară de calcul, °C;
 t_{ee} – temperatura exterioară de echilibru, °C;
 t_{i0} – temperatura interioară de calcul în sezonul rece al anului, °C;
 t_E – temperatura echivalentă – temperatura maximă realizabilă pe placa absorbantă a captatorilor solari °C;
 Δt – diferența medie de temperatură la vaporizatorul și la schimbătorul pompei termice, K;
 I – intensitatea radiației solare, W/m^2 ;
 S_C – suprafața de captare solară, m^2 ;
 S_S – suprafața schimbătorului de căldură al buclei solare, m^2 ;
 k_C – coeficientul global de transfer termic al captatoarelor solare, $\text{W/m}^2\text{K}$;
 k_S – coeficientul global de transfer termic al schimbătorului de căldură al buclei solare, $\text{W/m}^2\text{K}$;
 H – factorul de cuplaj termic complex al clădirii (capacitatea de transfer termic a clădirii), W/K ;
 a – debitul specific de agent termic în bucla solară, $\text{m}^3/\text{s.m}^2$;

ρ - densitatea agentului termic, kg/m^3 ;
 c – căldură specifică masică a agentului termic, J/kg.K ;
 F' - factorul de corecție al fluxului termic captat, conform tip captator solar, -;
 α - coeficientul de absorbție al radiației solare pe placa plană absorbantă a captatoarelor solare, -;
 τ - coeficientul de transparență al elementului vitrat al captatoarelor solare, -;
 NTU_C – numărul de unități de transfer termic aferent suprafeței de captare solară, -;
 NTU_S – numărul de unități de transfer termic aferent schimbătorului de căldură al buclei solare, -;
 E_C – modulul termic aferent suprafeței de captare solară, -;
 E_S – modulul termic aferent schimbătorului de căldură al buclei solare, -;
 E_{CS} – modulul termic aferent buclei solare în ansamblu, -;
 β_0 – raportul parametrilor termici aferenți suprafeței de captare, care implică temperatura de retur din bucla solară, $\text{m}^2.\text{K/W}$;
 β_B – raportul parametrilor termici aferenți buclei de captare, care implică temperatura medie a agentului termic din secundarul schimbătorului de căldură aferent buclei solare, $\text{m}^2.\text{K/W}$;
 β_{BC} – raportul parametrilor termici aferenți sistemului buclă de captare consumator, care implică o formă corectată a temperaturii de ieșire a agentului termic din instalația de încălzire centrală a clădirii, $\text{m}^2.\text{K/W}$;
 η - randamentul de captare a energiei solare, -;
 F_R – factor de corecție flux termic captat corelat cu β_0 , -;
 F_R^B – factor de corecție flux termic captat corelat cu β_B , -;
 F_R^C – factor de corecție aferent consumatorului, -;
 F_R^{BC} – factor de corecție flux termic captat corelat cu β_{BC} , -;
 COP_{CD} – coeficientul de performanță al pompei de căldură, -;
 G_{AE} – grad de acoperire energetică, -;
 Nr.zile – număr zile, zi;
 $P_{\text{écs}}$ – puterea termică captată de instalația solară, kW;
 P_{INC} – puterea termică a instalației de încălzire a clădirii, kW;
 $P_{VP} = P_{CS}$ – puterea termică absorbită la vaporizatorul pompei termice, kW;
 P_{CD} – puterea termică cedată la condensatorul pompei termice, kW;
 P_{el} – puterea electrică absorbită de motorul compresorului pompei termice, kW;
 P_{ct} – puterea termică consumată de centrala termică, kW;
 E_{inc} – energia termică necesară clădirii pentru încălzire, MWh;
 E_{vp} – energia termică absorbită la vaporizatorul pompei termice, MWh;
 E_{el} – energia electrică absorbită din rețea de pompa termică, MWh;
 E_{ct} – energia termică consumată de centrala termică, MWh;
 G_{ae_vp} – grad de acoperire energetică realizat de către secțiunea neconvențională, -;
 $G_{ae_el_ct}$ – grad de acoperire energetică realizat de către sursele clasice de energie (motorul compresorului pompei termice și centrală termică), -;

Bibliografie

1. SR 4839/1997 – Instalații de încălzire – Numărul anual de grade zile;
2. Metodologie de calcul al performanței energetice a clădirilor - Mc001/2006;
3. Energetica echipamentelor și sistemelor termice din instalații – Florin Iordache - Editura Conspreess, Bucuresti, 2010;
4. Echipamente și sisteme termice. Metode de evaluare energetică și funcțională – Florin Iordache – editura Matrixrom, București 2017, (pag 99-113 - Sistem sursă cu captatoare solare și pompă de căldură – Florin Iordache, Mugurel Talpiga);
5. Modelare funcțională și energetică a unui sistem compus din pompă de căldură, instalație de încălzire centrală și clădire - Florin Iordache, Mugurel Talpiga – Revista Română de Inginerie Civilă – editura Matrixrom 2018 (în curs de publicare);
6. Solar Engineering of Termal Processes – John A. Duffie, William A. Beckman – John Wiley & Sons, Inc.2006;