

Revista Română de Inginerie Civilă

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

Volumul 9 (2018), Numărul 3

Some thoughts what brings end of this century to building sector, to life stile, inside and outside living conditions	175-178
<i>Branislav Todorović</i>	
Economic and energy efficiency of investments in digitalized systems	179-190
<i>Gabriela Mehedintu, Nicolae Postavaru</i>	
Clădire cu consum redus de energie termică. Surse regenerabile – recuperare de căldură și pompă termică	
Low-energy building. Renewable Sources - Heat Recovery and Heat Pump	191-208
<i>Florin Iordache, Eugen Mandric</i>	
Dezvoltare durabilă sau sustenabilitate	
Sustainable development or sustainability	209-216
<i>Adrian Retezan, Ioan Silviu Doboși, Remus Retezan</i>	
Aplicarea procedurilor de determinare a scalelor energetice și prezentarea unui model pentru certificatul de performanță energetică	
Applying the procedures for determining the energy scales and submitting a model for the energy performance certificate	217-227
<i>Cătălin Lungu, Silviana Brata</i>	
Evoluția normelor specifice de consum a gazelor natural pentru necesitățile casnice în condițiile Republicii Moldova în ultimii 50 de ani	
The development of specific rate of gas consumption for household requirements in the conditions of the Republic of Moldova in the last 50 years	228-237
<i>Mariana Haiducova, Constantin Țuleanu</i>	
Energy system for tomorrow - role of exergy	238-250
<i>Peter Novak</i>	
Sistem de cogenerare-trigenerare. Analiza energetica pe un scenariu de alimentare a unui consumator	
Cogeneration-trigeneration system. Energy analysis on a consumer scenario	251-264
<i>Florin Iordache</i>	
From irreversibility to sustainability linking energy storage, geo-ecology recovery and renewables	265-274
<i>Marija S. Todorović</i>	
Surse reci autocompensate sezonier in sisteme de instalatii echipate cu pompe de caldura reversibile	
Seasonally self-compensated cold sources in installation systems equipped with reversible heat pumps	275-277
<i>Andreea Baran, Ionela Cazacu, Theodor Mateescu, Razvan Luciu</i>	

Analiza randamentelor unui sistem de cogenerare cu motoare termice cu combustie internă ca sursă primară și cazan de apă caldă ca sursă de vârf	
Efficiency analysis of a CHP plant, based on reciprocating engines as prime movers and a hot water boiler as peak source	278-291
<i>Gabriel Mărcuș, Vlad Iordache, Rodica Frunzulică, Florin Iordache</i>	
Application des indicateurs PMV, PPD de confort thermique et du critère de confort thermique local pour l'évaluation des paramètres du microclimat dans la chambre à condition que les parois sont endommagées	
Application of PMV, thermal comfort PPD and local thermal comfort criteria for the evaluation of microclimate parameters in the chamber, provided that the walls are damaged	292-300
<i>Viktor Petrenko, Kostiantyn Dikarev, Oleksandra Kuzmenko, Anatolii Petrenko, Ivan Ogdansky</i>	
Prof/trac project – improving skills for successfully designing, constructing, renovating and operating nearly zero energy buildings	
	301-306
<i>Andrei Vladimir Lițiu, Tiziana Buso, Anita Derjanecz, Carmen Luminița Cuc, Ioan Silviu Doboși, Adrian Retezan</i>	
Evaluation de déplacement maximal d'un noeud constructif à condition de robustesse et ayant un volume imprécis	
Maximum displacement evaluation of a node constructive, provided that it is robust and has a volume imprecise	307-314
<i>Baranenko Valeriy, Volchok Denys</i>	

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

COLEGIUL EDITORIAL

Prof.dr.ing. Ioan BORZA, *Universitatea Politehnica Timișoara*
Conf.dr.ing. Lucian CÂRSTOLOVEAN, *Universitatea Transilvania Brașov*
Conf.dr.ing. Vasilică CIOCAN, *Universitatea Tehnică Gh. Asachi Iași*
Prof. dr. Stefano CORGNATI, *Politecnico di Torino, Italy*
Conf. dr. ing. Andrei DAMIAN, *Universitatea Tehnică de Construcții București*
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. Dragoș HERA, *Universitatea Tehnică de Construcții București, 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 Construcții București*
Prof.dr.ing. Gheorghe Constantin IONESCU, *Universitatea Oradea*
Prof.dr.ing. Florin IORDACHE, *Universitatea Tehnică de Construcții București – **director editorial***
Prof.dr.ing. Vlad IORDACHE, *Universitatea Tehnică de Construcții București*
Prof.dr.ing. Karel KABELE, *Czech Technical University, Prague, Czech Republic*
Prof.dr.ing. Ioan MOGA, *Universitatea Tehnică Cluj Napoca*
Prof.dr.ing. Nicolae POSTĂVARU, *Universitatea Tehnică de Construcții București*
Prof.dr.ing. Daniela PREDA, *Universitatea Tehnică de Construcții București*
Prof.dr.ing. Adrian RETEZAN, *Universitatea Politehnica Timișoara*
Conf.dr.ing. Daniel STOICA, *Universitatea Tehnică de Construcții București*
Ș.l.dr.ing. Ionuț-Ovidiu TOMA, *Universitatea Tehnică Gh. Asachi Iași*
Prof.dr.ing. Ioan TUNS, *Universitatea Transilvania Brașov*
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 publicată și finanțată de editura
MATRIX ROM
Director executiv: mat. Iancu ILIE

Online edition ISSN 2559-7485

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

Some thoughts what brings end of this century to building sector, to life stile, inside and outside living conditions

Branislav TODORVIĆ, Belgrad, Serbia

Professor of University Belgrade,
Doctor Honoris Causa of Timisoara University,
Member of Russian Academy of Building and Architectural Sciences,
Member of Serbian Academy of technical Sciences,
ASHRAE life member, also the member of Hungarian scientific society,
Honorary editor of International Journal Energy&Buildings

Abstract:

This article presents various information of many official and unofficial thoughts of different authors, also of building and furniture producers, planers, UN statistics and IT engineers and their plans regarding the development of smart cities and direction where may the world go in coming future. English will be dominant language.

Key words: building sector, life stile, living conditions.

1. The smart city

The smart city makes use of automated technology to gather data, and then uses that data to regulate and control any number of municipal systems. These systems range from transportation to education, but also include complex networks of buildings, roads, bridges and electric grids. Making cities smarter means making them aware of the inputs that contribute to how these various systems operate, then using technology automatically make things more efficient.

The goal of a smart city is to cultivate a more sustainable environment and be sustainable city. One with less waste and inefficiency. This isn't limited to just non fossil fuel forms of energy production, either. Smart cities are making use of waste management facilities that can convert garbage, and even sewage into usable electrical energy. And the waste that cannot yet be converted into fuel is being better sorted into recyclables or in waste. For example, Barcelona is consistently known as leader city for various metrics used to analyze city intelligence. Despite being one of the oldest and most storied cities in the world, they have managed to implement city wide upgrades to their electrical grids, smart traffic and parking systems, even street lights that are properly timed and use low energy bulbs and solar power for operation. Such changes can be slow to adaptation due to the grand scale with which such transitions must happen on.

"Smart" doesn't necessarily point to the automated, artificial intelligence of these different systems, but can simply refer to the way in which planners, architects, and city officials approach any number of ubiquitous issues. Being smart about urban design and architecture means understanding economic growth, density and zoning,

and how the existing network of roads and grids can be better. It has almost everything to do with the people who live in and are moving to these cities, and what sort of cultural underpinning they represent. Those societal values are vital to determining the direction a city is heading, and how smart it ultimately becomes. In addition a smart city is a self-aware city, filled with self-aware people who are willing to take on the conscience that comes with being sustainable. Those people understand the impending environmental and social issues facing our future, and understand that if we do not start putting a plan in place to change how we live, things could get bad and they could get bad fast.

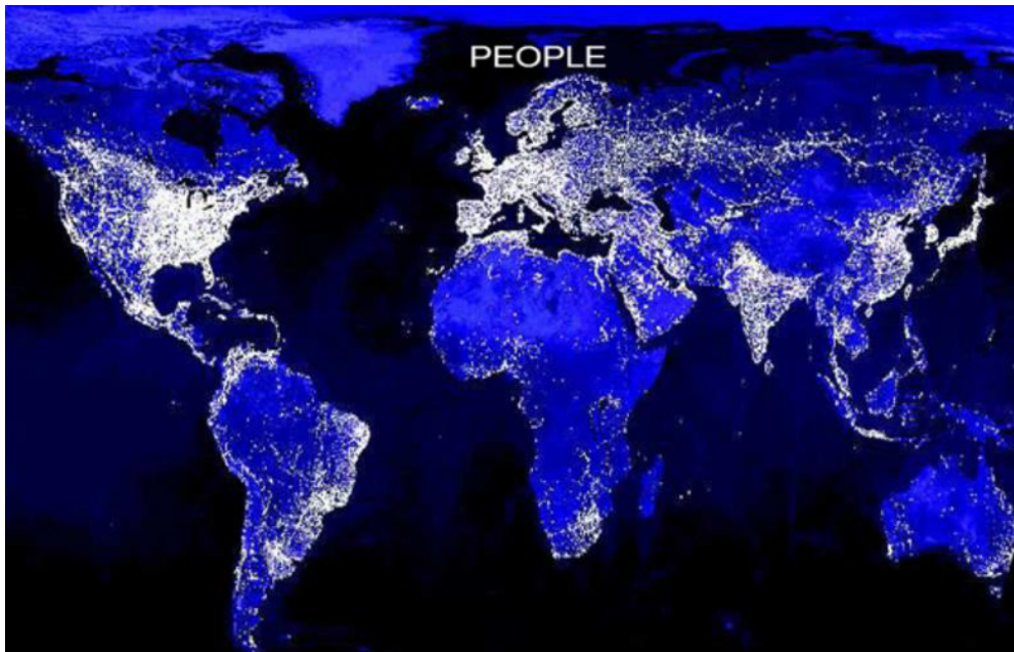


Fig. 1. The distribution of the world population

The number of Earth population is now about 7 milliards and each day this number is increasing. The UN experts have done projection how the world could look in 2100. The prediction is, world population could increase to 10 milliard and 80% will live in cities. The experts believe due to increase it the result will be in so called Mega Cities with population, over 20.000.000 as now are Delhi, Mexico City and Beijing, some USA cities.

2. A vision of future lifes and buildings

The life of new generations will be changed and indeed, it is today already changed. The people will be mostly living in cities and staying indoors. The new buildings will mostly be in new towns. All Existing buildings will be renovated in next 100 years.

The new future buildings are going in the high and will have following characteristics: optimized systems for personalized environment and improved health and wellbeing, personalize comfort provision. Occupants have to learn behavior and expectations, quantify and improve health and wellbeing, building systems will be

Some thoughts what brings end of this century to building sector, to life stile, inside and outside living conditions

modular, durable construction and interoperable adaptive building components will consist of modular systems, embrace intelligent envelopes, composed of programable and interoperable components. Also utilities, transactive networks and distributive solutions for high efficiency and resilience, integrated centralized and decentralized networks, connected to transact services and resources.

Community will have multifunctional and diverse services to support community cohesion, adopt to changing needs, connected by multi modal transportation network, measure and disclose holistic performance.

Environment: samples interaction of human and natural systems in the built environment. Fully harvest onsite resources, tied from health influencers, monitor environmental influences.

In next three decades there will be smart sleeping beds which will be adjusted to how much sleep would a person need, how long to rest. Also are predicting automatic color changes of furniture, walls, floors, curtains in rooms.

3. Dying lanuages

Today there are about 7000 languages and a lot of them will no more be in use. Dominant language will be English.

4. Length of mens lifes

In 2010 average life length of world population was 65 years what was about 22%. In 2100 average life would be 81 years. But it was not taken as possibility improvements of medicine and also negative influence of hunger, new illnesses, consequences of nuclear wars, depleted uranium and also consequences of global warming.

Energy sources as naphta, gas and coal will not exist if we are going to use as now. It is expected increased use of Hydro energy and wind, solar and another renewable energy sources.

5. Hunger and Water

Even today there are about one million of hungry people and grow of population would this problem make more serious. About one million people are hungry. Maybe the global warming producing drought increases this risk. Also consequences of using so called “depleted” uranium which has dangerous left long period of consequences to health.

6. How great firms and institutions define smart buildings

IBM: „Smarter buildings are well managed, integrated physical and digital infrastructures that provide optimal occupancy services in a reliable, cost effective, and sustainable manner. They help their owners, operators, and facility managers improve asset reliability and performance, what, in turn, reduces energy use, optimize how the space is used, and minimize the environmental impact of their buildings“.

American engineering and design firm LLC: „A smart building is the integration of building, technology, and energy systems. These systems may include

building automation, life safety, telecommunication, user systems, and facility management systems.

“Smart buildings provide actionable information about a building or space within a building to allow the building owner or occupants to manage the buildings“.

The European Commission has the following definition: „a smart building means a building empowered by information and communication technologies in the context of the merging Ubiquitous Computing and the Internet“.

Siemens has this version: “only solutions which create the greatest synergy between energy efficiency, comfort and safety and security will be sustainable over the longer term solution that turn buildings into living organisms: networked, intelligent, sensitive and adaptable“.

3. Conclusion

For smart and cities and towns are important educated, and intelligent people use our buildings. Siemens has this version:

“Only solutions which create the greatest synergy between energy efficiency, comfort and safety and security will be sustainable over the longer term solution that turn buildings into living organisms: networked, intelligent, sensitive and adaptable“.

Economic and energy efficiency of investments in digitalized systems

Gabriela Mehedintu¹, Nicolae Postavaru²

Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti
Bd. Lacul Tei nr. 122 – 124, cod 020396, sector 2, Bucuresti
E-mail: gabriela.mehedintu06@gmail.com

Abstract. *The nowadays digital boom is a driver for the strategies of the companies that want to remain long-term efficient. Investments in technological solutions, especially in the facility management field, have a positive impact on the evolution of a company. This paper will show through a practical example, how it is taken a decision in terms of a technological investment in the facility management field and which the long-term economic benefits are.*

Key words: digitalization, facility management, BMS, investment

1. Introduction

Facility management is focused on the supportive services of the construction sector. At the same time, it is the main responsible sector for over 80% of the total life-cycle costs of a building and it influences 100% the utility consumptions. Therefore, in an era of digitalization, investments in technology software are essential for economic and energy efficiency and represent a priority for facility managers' strategies of optimization and adaptation to the new and to develop the investment into a successful business model for the company.

2. Digitalization in facility management

Facility management is the second most important field in company, regarding costs and economic impact on short-term and long-term perspective. It is a must for the companies to follow the trend of digitalization and to adapt to new challenges, in order to be a competitive company.

To achieve long-term benefits, managers within a company, especially in the construction sector, must make decisions by having in mind that facility management is a business in the life-cycle of an investment and that it can develop this investment into a business with revenues. Facility management is an expense spread over many years which highlights the construction business, brings added value to the building, by creating technical and economic efficiency for the company. This added value is reflected over time in an estimated and gained profit. If the company doesn't focus on

facility management and if it doesn't take advantage of technological progress, the estimated profit could be lost over time.

2.1. Benefits of digitization in facility management

“To be digital” is no longer a characteristic of tech companies and a market trend, but a day to day necessity and an enabler, especially in the facility management sector which, according to Frost & Sullivan's market research report, will be worth nearly \$1 trillion by 2025. [1] A global study of MIT Sloan Management Review and Deloitte shows that over 90% of the respondents anticipated in 2015 that digitalization will be soon integrated part of our lives and of each industry, as we already rely on technology each day. [2]

Digital technologies have radically changed the way of working, the workplace itself and the way buildings and facilities are being used. With permanent internet connectivity and cloud services, facility management employees can work from anywhere and monitor and control the integrated system of a building, from the personal computer, tablet or smartphone. At the same time, these technologies provide complex information and database on activities and systems performance on which facility managers can make data-driven decisions about the use of space, equipment and installations, activities, resources and capital planning.

From this point of view, it is crucial for facility managers to adapt to the digital world, in order to provide additional services for the building occupants, including to meet their needs in terms of workplace conditions, but also to be more efficient in terms of costs and environmental impact. Therefore, facility managers have to take over their strategic role and invest in new technologies that improve services, reduce costs and sustain business models. [3]

The digitization of the facility management function is playing out across four dimensions [4]:

- Digitally-enabled FM services;
- Employee productivity and retention;
- Energy and sustainability management;
- Compliance.

The digitalization of the processes has to be implemented and used by people to get higher productivity, better energy efficiency and better economic results, with the existing resources.

2.2. The need of digitization in facility management

Although the digital world is part of our lives, there still exists companies and buildings that are inefficient. In these cases, facility managers are managing hefty energy bills, lacking maintenance processes, dissatisfaction of the building's occupants. Now, in these times, it is the proper moment for them to adapt and to invest

in technologies that can provide a better alternative to the status quo of the inefficient buildings. They can convert to more intelligent buildings, by just adopting the digitalization. [5]

Many studies show that technology used in facility management can reduce costs and be more efficient and effective, whether we speak about automating monitor of workplace environments such as temperature or humidity, or about the improved productivity of the facility management employees by digitizing paper-based processes. A SWG survey shows that nowadays, 72% of the survey respondents (facility managers) are using technology to improve the management of staff and contractors to minor equipment and allow pre-emptive maintenance, up 27% from 2015. Still, about one-third of the companies are using Excel spreadsheets and about 15% are using paper-based checklists to manage facility management activities. [6] This shows that there is potential for growth and optimization in terms of the degree of use of facility management technology.

2.3. Investment in BMS (Building management system), a first step into the digital world

Based on the previous and numerous other studies on the impact of technology on facility management, one basic solution for the non-tech companies to transform into more efficient ones is the investment in a BMS (building management system).

BMS is a controlled system that can monitor, integrate and control data from all equipment (electrical installations, HVAC, access control – for traffic monitoring, fire alarm systems - advantageous for emergency cases, etc.) in a building, in two directions: it takes signals from the field equipment and sends remote commands. [7] The digital devices such as sensors, controllers, communication gateways acquire, analyses and send data through the system and the user obtains actionable information. [8]

The interconnected data is providing information for the facility manager about [9]:

- Building status and construction contracts;
- Space management;
- Equipment characteristics, history, needs, location, maintenance necessities;
- Working environment;
- Building occupants: performance, working time;
- Resource usage;
- Life-cycle scenarios, etc.

An essential part of building management is energy management. It aims to minimize energy consumption, related emissions and energy costs. Energy management applied to the building management includes:

- Optimization of industrial installations and their operation;
- Optimizing physical influences on energy consumption;
- Optimizing power supply.

Important for the energy management is the comprehensive control of consumption and costs. By systematic analysis of energy and water, costs savings potential is identified and improvement measures are implemented if necessary.

Consumer savings and costs generated by energy management could have been stabilized in recent years, using business management tools and modern and transparent IT support. Also, the reduction of energy consumption contributes to meeting the requirements for improving climate protection.

3. Evaluation of economic efficiency of investment in BMS

Facility management investments in modern technology are an intelligent strategy for optimization and efficiency, due to their positive long-term impact on the company.

In the context of sustainable visions, the investment decision must be based on rigorous criteria that have the greatest benefits (maximum outcomes) under the conditions of minimum economic efforts. Only in this way, the activity can work effectively.

The evaluation of investment projects follows the costs and revenues realized with impact on the company's overall financial situation and also on the national economy, as they have a long-term impact and uncertainty, which is why the evaluation must include the assumed risk. Only when the company's activity exceeds the loss level is considered effective and has an optimal outcome.

Therefore, in order to identify correctly the economic value of the investment, it is necessary to analyze the efficiency indicators. The economic analysis of investments involves knowledge of hardly quantifiable components or interrelated and targeting a system of values to be considered. Hence the wide variety of indicators and their particular character. They try to express the content of the various economic characteristics and give the decision maker information about the economic system at that time.

4. Case study – Investment in BMS for an office building

4.1. Description of the Building Current State

A service company operates in an old office building in Bucharest, built in 1968-1973. It has one basement and 5 floors, a total area of 2.615,14 m² and a usable area of 2.315,74 m², where 163 employees work 40 hours per week. It is structured as it follows:

- 1 reception;
- 6 lobbies;
- 31 offices;
- 10 toilets;

- 7 storage room.

It has the following technical equipment:

- 1 elevator;
- Electrical lighting equipment;
- Low voltage electrical installations;
- Gas central heating;
- Radio burglar alarm system with 90 detectors;
- 40 air conditioning devices – 12.000 BTU;
- Water supply system and sewage.

The consumptions and costs of the utility for the years 2015 and 2016 are presented in the following table together with their graphic representation:

Year	Month	Gas			Electricity			Water		
		Total cost (Lei)	Lei/MWh	Consumption (MWh)	Total cost (Lei)	Lei/MWh	Consumption (MWh)	Total cost (Lei)	Lei/m ³	Consumption (m ³)
2015	January	21.640,08	112,39	192,54	4.200,32	46,85	89,65	844,27	3,68	229,42
	February	25.674,35		228,44	7.030,16		150,06	832,58		226,24
	March	23.245,75		206,83	10.416,61		222,34	1.115,56		303,14
	April	17.584,76		156,46	1.157,66		24,71	722,66		196,38
	May	22.994,19		204,59	1.043,06		22,26	919,11		249,76
	June	2.663,79		23,70	1.861,61		39,74	951,85		258,66
	July	7.210,24		64,15	2.600,65		55,51	1.239,52		336,83
	August	1.354,11		12,05	610,40		13,03	1.059,44		287,89
	September	2.104,84		18,73	1.921,25		41,01	1.047,74		284,71
	October	7.105,00		63,22	2.666,13		56,91	743,71		202,10
	November	10.839,92		96,45	1.206,77		25,76	986,94		268,19
	December	20.613,39		183,41	3.405,16		72,68	902,74		245,31
	Total	163.030,43		1.450,58	38.119,80		813,66	11.366,13		3.088,62
2016	January	23.326,29	130,00	207,55	2.694,19	42,36	63,60	1.134,27	3,72	304,91
	February	16.148,79		143,69	406,94		9,61	977,58		262,79
	March	18.145,45		161,45	2.691,85		63,55	760,08		204,32
	April	23.370,73		207,94	1.033,71		24,40	2.759,68		741,85
	May	21.637,74		192,52	1.330,73		31,41	1.370,48		368,41
	June	13.138,87		116,90	4.822,42		113,84	839,60		225,70
	July	12.130,89		107,94	2.970,16		70,12	2.013,63		541,30
	August	1.941,13		17,27	5.051,61		119,25	1.199,76		322,52
	September	376,53		3,35	970,56		22,91	1.075,81		289,20
	October	5.743,87		51,11	3.456,61		81,60	1.728,31		464,60
	November	5.996,45		53,35	4.876,21		115,11	1.234,84		331,95
	December	19.030,08		169,32	3.021,61		71,33	1.276,94		343,26
	Total	160.986,82		1.432,39	33.326,61		786,75	16.370,97		4.400,80

Fig. 1. Consumptions and costs of the utility for the years 2015 and 2016.

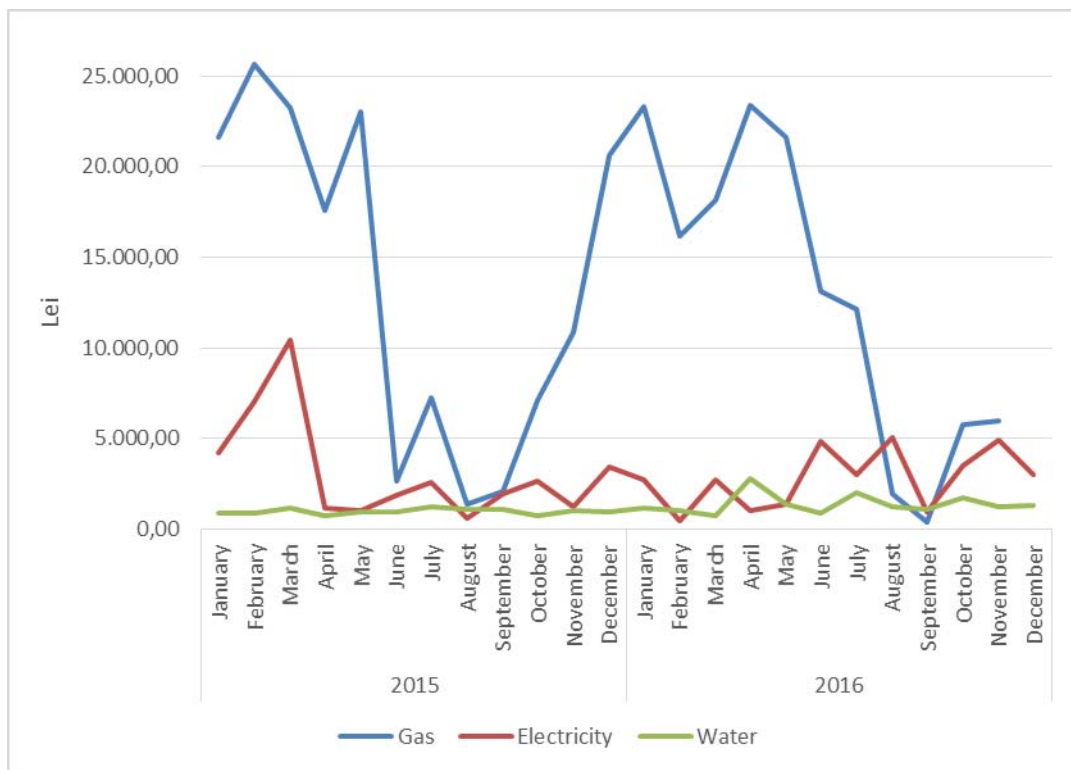


Fig. 2. Costs of the utility for the years 2015 and 2016.

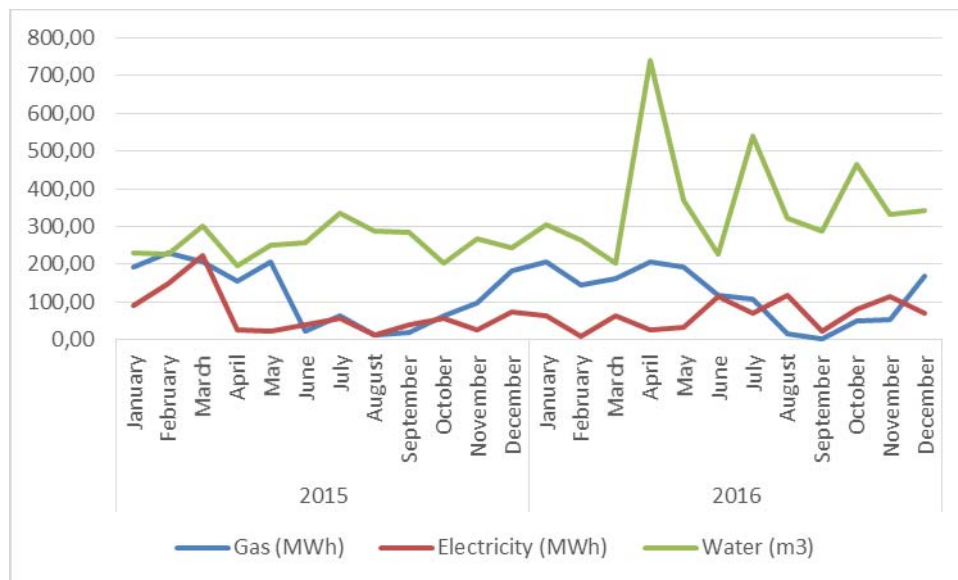


Fig. 3: Consumptions of the utility for the years 2015 and 2016.

4.2. Presentation of the investment alternatives

After a market research and an analysis of the best in class alternatives, the facility manager of the building has chosen two personalized offers, with similar technical properties:

- Offer 1: 638.015,00 lei VAT excluded;
- Offer 2: 655.110,00 lei, VAT excluded;

Both offers of BMS includes following systems:

- Fire protection system;
- Security system;
- Integrated HVAC system;
- Lighting system with sensors;
- Water system with sensors;
- Site controllers;
- Field equipment;
- Integrated software.

4.3. Assessment of the investment economic efficiency by calculating the economic indicators

In order to decide upon the best alternative for the building, in economic terms, we will calculate some efficiency indicators:

- a) Investment value/volume of the invested capital – the total economic effort made for the investment, in order to achieve the objective:

$$I_t = I_d + I_{col} + I_{con} + C_s \quad (1)$$

Where:

I_t = total investment

I_d = direct investment (reflected through the general estimate)

I_{col} = collateral investment (access roads, ensuring the power supply etc.)

I_{con} = related investment (expenses regarding the initial equipment, additional expenditure)

C_s = additional investment expenditure (design, preparing the human resources necessary for the new objective, etc.)

- b) Investment performance term: until the commissioning, the financial resources are blocked. It is measured starting from the signature date of the contract. A commissioning before the scheduled term means an economic advantage.
- c) Operation time of asset: starts upon its commissioning, should be as long as possible, under the conditions of a proper functioning.
- d) Investment payback period: indicator with a strong impact on the investment decision because it offers information about the period in which the invested capital is recouped from the economic results of the asset performance.

For assets to be modernized:

$$D = \frac{I_m}{P_{hm} - P_{ho}} \quad (2)$$

Where:

D = payback period

I_m = value of the capital invested in modernization

P_{hm} = annual profit got after modernization

P_{h0} = annual profit got before modernization – it will be recouped from the extra profit obtained as a result of the investment

In order to estimate the payback period time and to calculate the economic return on investment, it is considered an operation period of 15 years, an increase of the profit as presented in the following table and a constant annual net profit growth of 4% beginning with the year 2020.

Year	Net annual profit (lei)	
2015	2.241.060,59	
2016	2.297.087,10	↗2,5%
2017*	2.370.593,40	↗3,2%
2018*	2.656.817,60	↗3,5%
2019*	2.749.806,22	↗3,5%
2020*	2.859.797,30	↗4%
*estimated		

Fig. 4. Estimated annual net profit.

e) Economic efficiency coefficient: is the reverse of the payback period.

f) Economic return on the investment: the most comprehensive indicator because it takes into consideration the whole investment process. Simply explained, the indicator shows how many lei can be obtained as profit from each lei unit invested:

$$R = \frac{P_t - I}{I} = \frac{P_h \times D}{I} - 1 \quad (3)$$

Where:

P_t = total annual profit

P_h = net annual profit got after having recouped the investment, until the end of the operation time

I = total volume of investment

D = operation time

g) Investment payback speed: gives information about how many times the invested capital can be recouped during the operation time.

According to the calculations and the analysis of the indicators of the investment economic efficiency, it is obvious to decide upon investment 1 in BMS, as the best solution for the given building. The green marked results are the proof of this.

Indicator name	Investment 1	Investment 2
Investment value	645.345,00	662.440,00
Completion time	11 months	8 months
Operation time	15-20 years	15-20 years
- Site controllers	15-20 years	15-20 years
- Land equipments	15-20 years	15-20 years
- BMS Software (+updates)	3-5 years	3-5 years
Payback period	2.25 years	2.32 years
Economic efficiency coefficient	0,44	0,43
Economic return	5,71	5,53
Payback speed	6,66	6,46

Fig. 5. Investment economic efficiency.

But, it is not enough to take into consideration only these indicators, when deciding upon an investment. It is also necessary to take a look at the economic advantages given by the consumptions after implementing the new system.

4.4. Estimating the consumptions after investments

The future consumptions of the utility for the next three years can be estimated based on the technical specifications of the equipment and on the experience and data provided by the two BMS suppliers:

- Alternative 1: In the year 2017, the consumption is growing, because it is the year of the investment implementation. After that, it is expected a total decrease for all utility, as a result of the BMS: 30,67% for gas and 4,67% for water. The highest reduction should be in electricity, 65,86%, due to the new efficient equipment, as described in the following two figures:

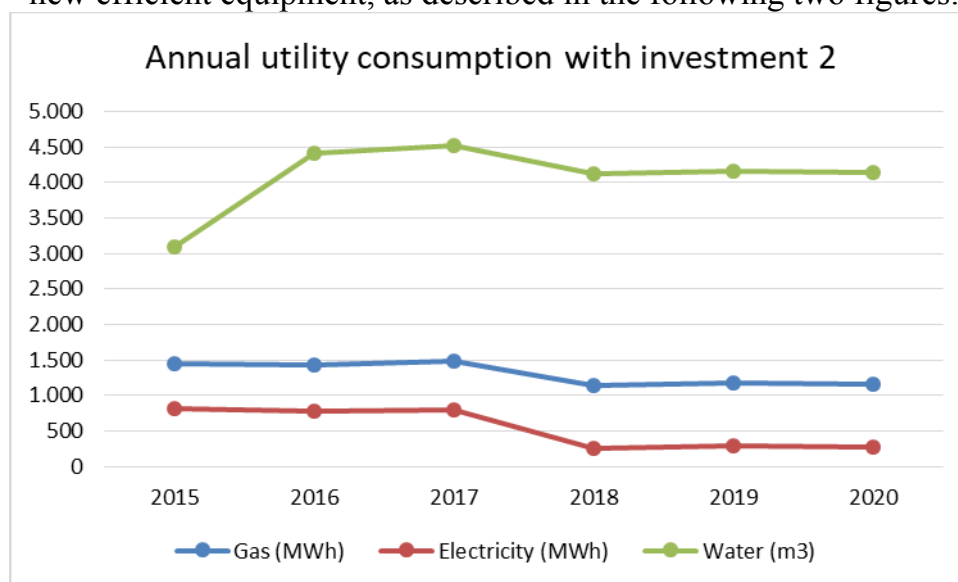


Fig. 5. Estimated evolution of annual utility consumption with investment 1.

Investment 1	Gas (MWh)		Electricity (MWh)		Water (m3)	
2015	1.450,58		813,66		3.088,62	
2016	1.432,39		786,75		4.400,80	
2017	1.488,40		801,02		4.510,22	
2018	1.142,50	↓ 23,40%	256,89	↓ 67,93%	4.117,83	↓ 8,70%
2019	1.172,86	↓ 21,20%	292,85	↓ 63,44%	4.154,36	↓ 7,89%
2020	1.156,93	↓ 22,27%	270,66	↓ 66,21%	4.144,89	↓ 8,10%
Total	↓ 32,13%	↓ 22,29%	↓ 65,86%	↓ 65,86%	↓ 8,23%	↓ 8,23%

Fig. 6. Estimated annual utility consumption with investment 1.

- Alternative 2: As in the first case, in 2017 the consumption is expected to grow due to the implementation period of the BMS. After the implementation, following decreases in utility consumptions are expected: 31.56% for gas, 71.69% for electricity and 4,80% for water, as described in the following two Figures:

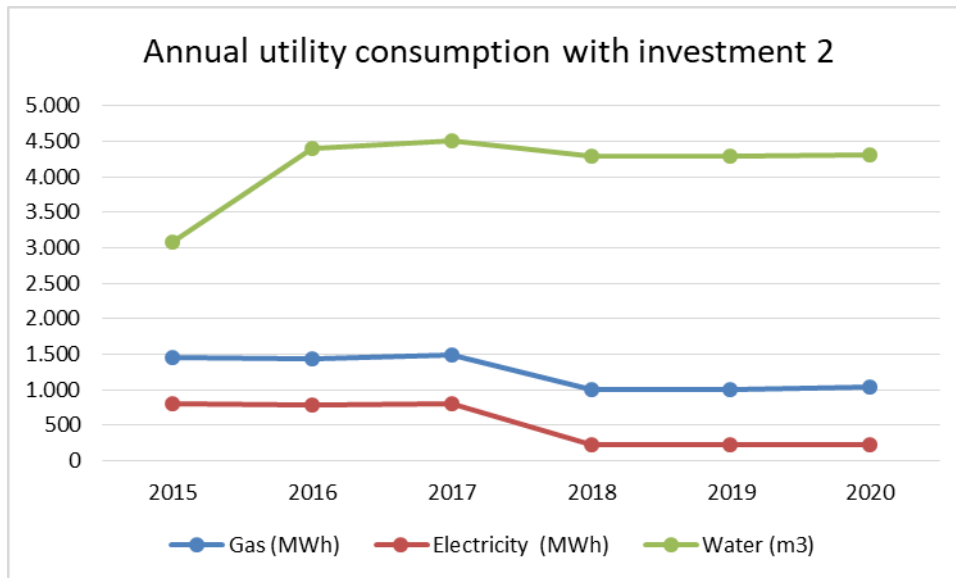


Fig. 7. Estimated evolution of annual utility consumption with investment 2

Investment 2	Gas (MWh)		Electricity (MWh)		Water (m3)	
2014	1.450,58		813,66		3.088,62	
2015	1.432,39		786,75		4.400,80	
2016	1.488,40		801,02		4.510,22	
2017	1.006,16	↓ 32,40%	222,60	↓ 72,21%	4.289,22	↓ 4,90%
2018	1.010,47	↓ 32,11%	233,58	↓ 70,84%	4.289,22	↓ 4,90%
2019	1.039,35	↓ 30,17%	224,13	↓ 72,02%	4.302,75	↓ 4,60%
Total	↓ 36,02%	↓ 31,56%	↓ 71,69%	↓ 71,69%	↓ 4,80%	↓ 4,80%

Fig. 8. Estimated annual utility consumption with investment 2.

4.5. Investing in BMS Final Outcomes

The above analysis shows that the most consumption savings are coming from the electricity, as it is the resources used by all equipment of the building. The improvements as a whole are about 80% due to the efficiency of the heating and cooling system and the rest due to the lighting system. [10]

When analyzing only the economic effect of the investment in BMS for the office building, it is very clear that the first investment alternative is the winner. But when looking at the consumptions, the decision goes in the direction of the second alternative:

Utilities consumption	Investment 1	Investment 2
Gas	↓ 22,29%	↓ 31.56%
Electricity	↓ 65,86%	↓ 71.69%
Water	↓ 8,23%	↓ 4.80%
Total	↓32,13%	↓36,02%

Fig. 6. Estimated utility consumption savings.

Although, the advantages of investing in a BMS do not refer only to the energy and cost savings. Due to the modern technology, there are also benefits such as:

- The result of the digitalization:
 - Monitoring of the utility consumptions and possibility to adapt the equipment for a more efficient use;
 - Managing the alerts for emergency cases;
 - Monitoring and controlling all equipment;
 - Overview of whole activity of the building;
- The reduction of CO₂ emissions;
- The increased comfort and satisfaction for the building's occupants and therefore increased productivity;

The final decision of the facility manager regarding the best alternative for investing in a BMS that fits the need of the office building depends first of all of the openness of the company to the new digitalized world, but most of the company's investment strategy.

5. Conclusions

In a technologized era, there is a need for a shift from the traditional work to a digitalized process-based management, with data-driven decisions that can improve a company's performance.

Modernization through digitization and restructuring of economic activity has a beneficial effect on economic efficiency, both through the efforts made to promote the modernization pathways and the economic effects of this action. From the point of view of the economic effects, this type of activity has several advantages, but the most important one is considered to be the influence it exerts on the qualitative sides that it determines.

Studies show that investments in equipment and technology integrated into facility management activities can lead to cost efficiencies of up to 30% within a company, as facility management is the second largest cost center in an organization. Early identification of the need for investment, optimization and efficiency is vital for a good adaptation to new reality, innovation and progress. The economic efficiency of investments is a fundamental issue in facility management and a project will be effective if the calculated efficiency indicators meet the general requirements of the organization.

From a technological point of view, the investment of a company in a BMS is beneficial both to the building owners (equipment control and monitoring, reduced risks, flexibility, energy efficiency and increased operating savings, high revenue from perceived rents) and building's occupants (control, productivity, comfort, financial savings and maintenance time).

Started from all aspects listed in this paper, the facility management sector is, in this case, the key to the evolution and success of a company, because based on a digitalized support, the facility manager with its team can ensure that facilities are functioning properly, can improve their efficiency by having a complex overview of their status and can anticipate and prevent actions with negative impact on the buildings, their occupants and on the company as a whole. It can align the facilities to the strategy of the company by controlling the value and efficiency of investments and long-term costs.

References

- [1] *Checkit*, "The 4 benefits of digitizing facilities management", 2016, <https://www.checkit.net/the-4-benefits-of-digitising-facilities-management/>.
- [2] G.C. Kane, D. Palmer, A.N. Phillips, D. Kiron, Buckley, "Aligning the Organization for Its Digital Future," in **MIT Sloan Management Review**, Summer 2016, Deloitte University Press, in http://img04.en25.com/Web/JLLAmericas/%7B8d3fceb1-b108-4863-b7da-b37569c201dd%7D_reinventing-facilities-management-for-the-dgital-world.pdf.
- [3] *JLL*, "Reinventing facilities management for the digital world", White Paper, 2016, http://img04.en25.com/Web/JLLAmericas/%7B8d3fceb1-b108-4863-b7da-b37569c201dd%7D_reinventing-facilities-management-for-the-dgital-world.pdf.
- [4] *JLL*, "Reinventing facilities management for the digital world", White Paper, 2016, http://img04.en25.com/Web/JLLAmericas/%7B8d3fceb1-b108-4863-b7da-b37569c201dd%7D_reinventing-facilities-management-for-the-dgital-world.pdf.
- [5] C. Talon, "Building The Future Through Digitalization", 2016, <https://www.forbes.com/sites/navigant/2016/05/04/building-digitization/#7bd4e0993ce6>.
- [6] *Checkit*, "The 4 benefits of digitizing facilities management", 2016, <https://www.checkit.net/the-4-benefits-of-digitising-facilities-management/>.
- [7] Honeywell, "An Overview to BMS", <http://www.controlead.com/media/downloads/BMSOverview.pdf>.
- [8] C. Talon, "Building The Future Through Digitalization", 2016, <https://www.forbes.com/sites/navigant/2016/05/04/building-digitization/#7bd4e0993ce6>.
- [9] *Baunetzwissen Sicherheitstechnik*, "Betriebsdatenerfassung BDE", http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Sicherheitstechnik_Betriebsdatenerfassung-BDE_165046.html.
- [10] BTG Romania, <http://btgromania.ro/>.

Clădire cu consum redus de energie termică. Surse regenerabile – recuperare de căldură și pompă termică

Low-energy building. Renewable Sources - Heat Recovery and Heat Pump

Prof. dr. ing. Florin Iordache¹, Drd. ing. Eugen Mandric²

^{1, 2, 3} Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti

Facultatea de Inginerie a Instalatiilor

Bdul. Pache Protopopescu, 66

fliord@yahoo.com

Rezumat

Lucrarea are ca obiectiv o analiză energetică care se referă la o clădire bine izolată termic, astfel încât puterea termică livrată prin intermediul debitului de aer proaspăt încălzit are contribuția de bază în acoperirea necesarului de căldură al clădirii. Restul contribuției de putere termică aparține unei instalații de încălzire de joasă temperatură. În prima parte a lucrării se stabilește o corelație între numărul de schimburi de aer al volumului spațiului încălzit, coeficientul global de izolare termică al clădirii și gradul de acoperire energetică oferit de secțiunea de ventilare.

Analiza energetică se referă distinct la secțiunea de ventilare, la secțiunea de încălzire centrală și pe ansamblul clădirii. Fiecare din cele două secțiuni menționate prin care se livrează putere termică în spațiul clădirii în vederea acoperirii necesarului de căldură este dotată atât cu sursă clasică cât și cu sursă regenerabilă: secțiunea de ventilare cu roată recuperatoare iar secțiunea de încălzire cu pompă de căldură tip aer-apă.

Rezultatele obținute sunt prezentate tabelar, grafic și printr-un set de diagrame referitoare la puterile termice și la energiile livrate prin fiecare din componentele celor două secțiuni și pe ansamblul lor. Diagramele prezintă comparativ situația lunară și anuală a puterilor și energiilor pe cele două secțiuni menționate.

Cuvinte cheie: roată termică recuperatoare, sistem cu debit de aer constant, încălzire de joasă temperatură, rată ventilație, coeficient global de izolare termică.

Abstract

The paper focuses on the thermal analysis of a well insulated building, where most of the heating energy that compensates the heat losses during the winter time is delivered through the dedicated fresh air system. The rest of the heating energy is provided by a low temperature heating system. The first part of the paper establishes a correlation between the

building's hourly air changes value, the global thermal insulation coefficient and the energy coverage ratio of the ventilation system.

The thermal analysis deals separately with the ventilation part, the central heating part and the building's ensemble. Both heating systems designed to cover the heat losses of the building are connected to a classical heating source and also to a renewable one. The dedicated fresh air system has as a renewable source a heat recovery thermal wheel and the low temperature system an air-water heat pump.

The results are presented in tabular form, graphically and through a set of diagrams which depict the heating power and heating energy separately for each component and for the ensemble. The diagrams show a comparison for the monthly and annual thermal analysis.

Key words: thermal recovery wheel, dedicated fresh air system, low temperature heating system, ventilation rate, global thermal insulation coefficient.

1. Introducere

Realizarea consumurilor reduse de energie pe bază de combustibili fosili în cazul clădirilor de tip rezidențial sau nerezidențial este o preocupare continuă a cercetătorilor în domeniu care durează deja de mai mulți ani. În acest timp s-au identificat o serie de soluții care pot fi adoptate. Parte din ele au fost deja adoptate în diverse investiții, fiind și expertizate energetic. Acesta este domeniul la care se referă și lucrarea de față. Atingerea unor consumuri reduse de energie pe bază de hidrocarburi se realizează printr-o serie de măsuri care vizează atât creșterea gradului de izolare termică al clădirii cât și sisteme de încălzire de joasă temperatură cu utilizarea surselor regenerabile.

În cadrul lucrării, utilizarea surselor regenerabile se referă la recuperarea căldurii din aerul viciat evacuat și la utilizarea pompei de căldură aer-apă. După cum se prezintă și în cadrul lucrării se pot face corelații între gradul de izolare termică al clădirii și posibilitatea de acoperire energetică pe baza energiei din surse regenerabile.

2. Descrierea soluțiilor. Modelarea proceselor

După cum este cunoscut, necesarul de căldură pe perioada sezonului rece a anului are două componente și anume necesarul de căldură care trebuie să acopere pierderile termice prin transmisie prin anvelopa clădirii și necesarul de căldură care trebuie să acopere pierderile de căldură datorate infiltrațiilor de aer sau ventilării spațiilor încălzite. În ceea ce privește ventilarea spațiilor se va impune realizarea numărului schimburilor de aer normat, în funcție de destinația spațiilor clădirii.

Pe partea de asigurare a cotei de aer proaspăt necesar ventilării spațiilor încălzite se va considera ca posibilitate de utilizare a surselor regenerabile recuperarea de căldură din aerul interior, viciat, evacuat.

În ceea ce privește necesarul de căldură pentru acoperirea pierderilor termice prin transmisie prin anvelopa clădirii, se impune utilizarea unui sistem de încălzire de joasă temperatură astfel încât să poată oferi o eficiență bună utilizării ca sursă regenerabilă unei pompe de căldură aer-apă.

Atât în ceea ce privește recuperarea de căldură în cazul cotei de aer proaspăt cât și în cazul utilizării pompei de căldură pentru acoperirea pierderilor termice prin transmisie rămâne ca sursele neregenerabile să fie utilizate atât pe partea de încălzire a aerului cât și pe partea de alimentare a instalației de încălzire de joasă temperatură. Se va aborda pe rând fiecare din cele două categorii de necesar de căldură menționate.

Astfel pe partea de aer se poate scrie următorul bilanț termic în regim staționar [1]:

$$L_0 \cdot \rho_a \cdot c_a \cdot (t_{r0} - t_{i0}) = G_{AEv} \cdot H \cdot (t_{i0} - t_{e0}) \quad (1)$$

Considerăm că se cunoaște H și setul temperaturilor nominale, adică: t_{r0} , t_{i0} , t_{e0} . Din (1) rezultă:

$$L_0 = \frac{G_{AEv} \cdot H}{\rho_a \cdot c_a} \cdot \frac{(t_{i0} - t_{e0})}{(t_{r0} - t_{i0})} \quad (2)$$

Raportând ambii termeni ai relației (2) la volumul V al spațiului încălzit rezultă:

$$\frac{L_0}{V} = \frac{G_{AEv} \cdot H}{V \cdot \rho_a \cdot c_a} \cdot \frac{(t_{i0} - t_{e0})}{(t_{r0} - t_{i0})} \quad (3)$$

Cum $H/V = G$ – coeficientul global de izolare termică al incintei în discuție, rezultă:

$$\frac{L_0}{V} = \frac{G_{AEv} \cdot G}{\rho_a \cdot c_a} \cdot \frac{(t_{i0} - t_{e0})}{(t_{r0} - t_{i0})} \quad (4)$$

Dat fiind că s-a lucrat în sistemul SI de unități de măsură s-au înmulțit ambii termeni cu 3600 (s/h) pentru a obține debitul de aer în (m^3/h) și avem:

$$\frac{3600 \cdot L_0}{V} = \frac{3600 \cdot G_{AEv} \cdot G}{\rho_a \cdot c_a} \cdot \frac{(t_{i0} - t_{e0})}{(t_{r0} - t_{i0})} \quad (5)$$

Remarcând faptul că primul termen din relația (5) este numărul de schimburi de aer al spațiului încălzit în (sch/h), iar $(\rho_a \cdot c_a / 3600) = 0,335$ (W.h/ m^3 .K). Rezultă în consecință că:

$$n_a = \frac{G_{AEv} \cdot G}{0,335} \cdot \frac{(t_{i0} - t_{e0})}{(t_{r0} - t_{i0})} \quad (6)$$

Din relația (6) rezultă că termenul al doilea al relației trebuie să conducă la o valoare de număr de schimburi de aer al incintei respective, n_a , în acord cu reglementările din Mc001 conform categoriei de spațiu încălzit. Astfel între coeficientul global de izolare termică, G , și raportul diferențelor nominale de temperatură să existe o corelație astfel încât să rezulte n_a recomandat de Mc001. De exemplu dacă se consideră $t_{i0} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{e0} = -15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ și $t_{r0} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$, atunci relația (6) devine:

$$G = \frac{0,096}{G_{AEv}} \cdot n_a \quad (7)$$

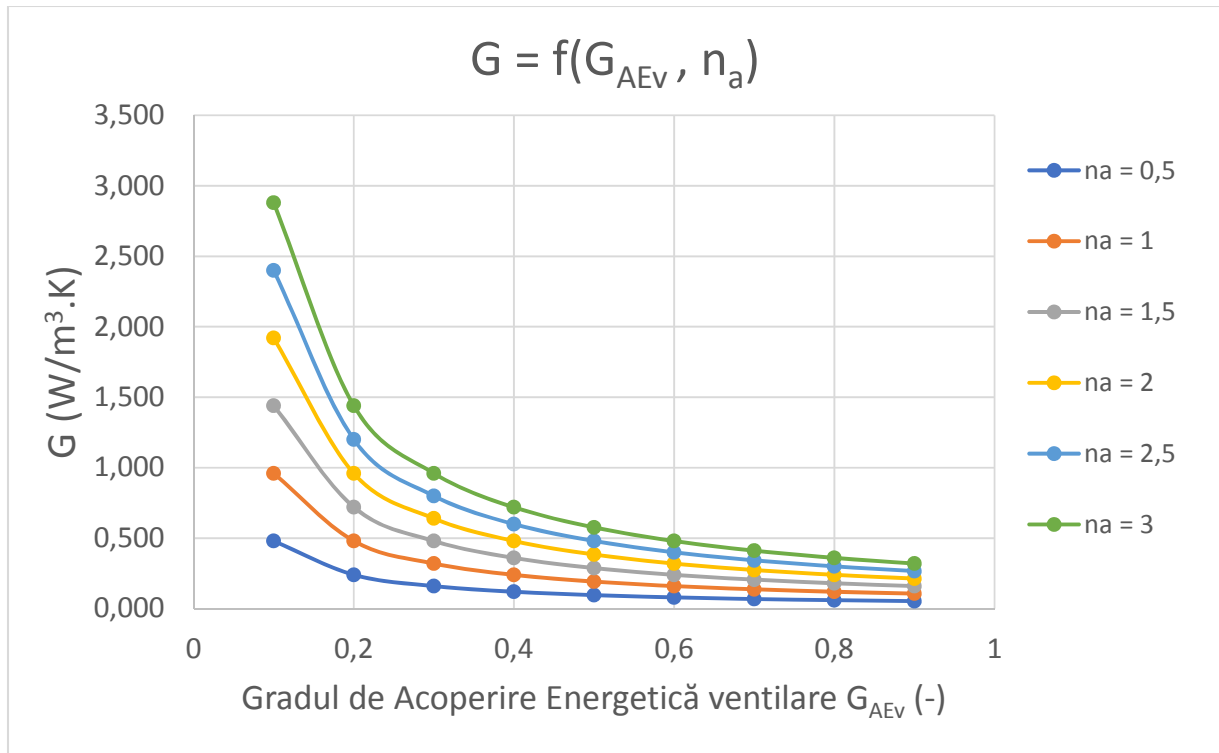


Fig. 1

Diagrama din fig. 1 este o reprezentare grafică a relației (7) din care se observă că impunerea unui număr de schimburi de aer, n_a , mai mic și a unui grad de acoperire energetică pe ventilare, G_{AEv} , mai mare necesită un coeficient global de izolare termică al clădirii, G , care să fie cât mai scăzut.

Pe de altă parte ținând seama de faptul că:

Clădire cu consum redus de energie termică. Surse regenerabile – recuperare de căldură și pompă termică

$$G = \frac{S/V}{R_m} + 0.335 \cdot n_a \quad (8)$$

Eliminând coeficientul global de izolare termică G al clădirii între relațiile (7) și (8), rezultă în final o relație de legătură între parametrii constructiv funcționali ai clădirii (S/V , n_a , R_m) și gradul de acoperire energetică pe ventilare (G_{AEv}):

$$G_{AEv} = \left(3,49 + 10.42 \cdot \frac{S/V}{n_a \cdot R_m} \right)^{-1} \quad (9)$$

Gradul de acoperire energetică pe partea de ventilare, G_{AEv} , conform relației (9) este valoarea maximă care poate fi vizată. Factorul de compactitate S/V , poate fi evaluat (cu un grad de aproximare care ar trebui verificat) funcție de volumul clădirii utilizând relația:

$$\frac{S}{V} = \frac{4.84}{V^{0.33}} \quad (10)$$

În regim curent de exploatare trebuie menținut debitul de aer proaspăt însă puterea termică furnizată de debitul de aer proaspăt încălzit va fi conform unui reglaj termic de tip calitativ. Astfel în regim curent de exploatare bilanțul termic din relația (1) se scrie:

$$L_0 \cdot \rho_a \cdot c_a \cdot (t_r - t_{i0}) = G_{AEv} \cdot H \cdot (t_{i0} - t_e) \quad (11)$$

Rezultă pentru temperatura aerului refulat în incintă expresia:

$$t_r = \left(1 + \frac{G_{AEv} \cdot H}{L_0 \cdot \rho_a \cdot c_a} \right) \cdot t_{i0} - \frac{G_{AEv} \cdot H}{L_0 \cdot \rho_a \cdot c_a} \cdot t_e \quad (12)$$

Însă din relația (2) se observă că:

$$\frac{G_{AEv} \cdot H}{L_0 \cdot \rho_a \cdot c_a} = \frac{(t_{r0} - t_{i0})}{(t_{i0} - t_{e0})} \quad (13)$$

Înlocuind relația (13) în relația (11) se obține:

$$t_r = \frac{(t_{r0} - t_{e0})}{(t_{i0} - t_{e0})} \cdot t_{i0} - \frac{(t_{r0} - t_{i0})}{(t_{i0} - t_{e0})} \cdot t_e \quad (14)$$

Utilizarea pentru recuperarea căldurii din aerul interior evacuat a unei roți recuperatoare oferă posibilitatea încălzirii aerului exterior proaspăt până la o temperatură inferioară temperaturii interioare, t_{i0} . Ridicarea în continuare a temperaturii aerului proaspăt până la temperatura de refulare în spațiul interior t_r se face prin intermediul unei baterii de încălzire alimentate cu agent termic fie de la o centrală termică fie de la o pompă de căldură de tip aer-aer. Eficiența roții recuperatoare depinde de valorile relative ale suprafeței de schimb de căldură și de viteza de rotație a roții raportate la debitul de aer proaspăt.

În ceea ce privește grosul necesarului de căldură care acoperă pierderile prin transmisie ale spațiului încălzit se utilizează un sistem de încălzire cu corpuri statice de joasă temperatură având ca sursă o pompă de căldură de tip aer-apă și ca sursă de rezervă o centrala termică.

Studiul aspectelor energetice se prezintă pe situația particulară a unui studiu de caz.

3. Studiu de caz

Se va considera cazul unei clădiri al cărui spațiu necesită un număr de schimburi de aer $n_a = 1$ sch/h și care este caracterizată de un coeficient global de izolare termică, G , de circa $0,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Conform diagramei din fig. 1 rezultă că se poate considera o valoare maximă pentru gradul de acoperire energetică pe ventilare de circa 20%. În ceea ce privește cota de necesar de căldură aferentă ventilării ea este de circa 66% și 34% revine transmisiei prin anvelopă, ceea ce atestă faptul că anvelopa clădirii are o rezistență termică medie apreciabilă ($> 3 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$).

Dat fiind faptul că refularea aerului proaspăt încălzit în spațiul ce pierde căldură către mediul exterior se va face în condiții nominale la o temperatură t_{r0} , pe care o putem considera ca având valoarea de 30°C , rezultă că și o parte din necesarul de căldură pentru acoperirea pierderilor prin transmisie se face pe baza aerului proaspăt încălzit refulat în spațiile încălzite ale clădirii. Cota acoperită în acest fel este de $10/35$ din cota de necesar de căldură aferentă ventilării (care este de circa 66% din necesarul total al clădirii), aceasta reprezentând $18,86\%$ din necesarul de căldură al clădirii. Practic, instalației de încălzire cu corpuri statice nu îi mai rămâne să acopere decât $34\% - 18,86\% = 15,14\%$ din necesarul total de căldură al clădirii. Se poate spune că practic $84,86\%$ din necesarul de căldură al clădirii va fi asigurat prin aerul proaspăt încălzit și refulat în clădire și $15,14\%$ prin instalația de încălzire de joasă temperatură.

Asupra acestei cote se va considera că se intervine printr-o pompă termică tip aer-apă, sistemul de încălzire cu corpuri statice (sau pardoseală încălzitoare) fiind de joasă temperatură $t_{T0}/t_{R0} = 50/30^\circ\text{C}$. Acoperirea vârfurilor de necesar de căldură în perioadele cu temperaturi exterioare scăzute (ex. $t_e = -7,5 \div -17,5^\circ\text{C}$) se va face prin intermediul unei centrale termice, care deservește în paralel și bateria de încălzire a aerului proaspăt încălzit în roata recuperatoare până la valoarea temperaturii de refulare. Bateria de încălzire suplimentară a aerului proaspăt încălzit în recuperator este alimentată cu agent termic preparat de către centrala termică pe toată perioada de încălzire, adică și în perioadele caracterizate de temperaturi exterioare cuprinse între $+12,5 \div -7,5^\circ\text{C}$.

Clădire cu consum redus de energie termică. Surse regenerabile – recuperare de căldură și pompă termică

Considerând că se utilizează o roată recuperatoare care lucrează cu o eficiență de 85% rezultă că încălzirea aerului proaspăt exterior în roată se va face până o temperatură $t_{eir} = 14,75$ °C. În continuare de la temperatura t_{eir} la temperatura t_r încălzirea se face în bateria de încălzire alimentată de către centrala termică. În consecință, puterea termică furnizată prin aerul proaspăt încălzit până la temperatura de refulare în spațiul încălzit, este parțial în proporție de 66% preparată prin recuperare și 34% preparată prin consum de combustibil fosil, în centrala termică.

Se va considera un volum al spațiului încălzit al clădirii de 13210 m³, ceea ce conduce la un factor de transmitanță al clădirii în valoare de 6605 W/K din care putem spune că necesarul de căldură aferent părții de 1000 W/K revine a fi deservită de către puterea termică transmisă prin instalația de încălzire de joasă temperatură (având ca sursă pompa de căldură și centrala termică) iar necesarul de căldură aferent părții de 5605 W/K revine a fi deservită de aerul proaspăt încălzit (având ca sursă roata recuperatoare și centrala termică). Descrierile privind acoperirile energetice prezentate până în prezent se referă la situația condițiilor nominale.

În continuare, analizele energetice ce vor fi prezentate vor ține cont, pe toată perioada sezonului rece, de cele două tipuri de instalații de furnizare a puterii termice în spațiul încălzit, fiecare din instalații având două surse de căldură, recuperare și centrala termică pe aerul proaspăt încălzit și pompa de căldură și centrala termică pe instalația de încălzire de joasă temperatură cu corpuri statice (sau pardoseală încălzitoare).

În continuare se prezintă situația distribuției puterilor termice necesare, recuperate și consumate pentru bateria de încălzire și a energiilor aferente pentru perioada de încălzire din sezonul rece, toate furnizate spațiului încălzit prin intermediul aerului proaspăt încălzit.

Tabel 1

te	dte	ti0 - te	Nr. Zile	tr	Qvn (kW)	Evn (kWh)	teir	Qvr (kW)	Evr (kWh)	Qvc (kW)	Ev (kWh)
-15	(-17.5/-12.5)	35	2	30,000	252,225	12106,8	14,75	166,749	8003,94	94,974	4558,7333
-10	(-12.5/-7.5)	30	11	28,571	216,193	57074,9143	15,5	142,928	37732,86	81,406	21491,171
-5	(-7.5/-2.5)	25	32	27,143	180,161	138363,429	16,25	119,106	91473,6	67,838	52099,81
0	(-2.5/+2.5)	20	60	25,714	144,129	207545,143	17	95,285	137210,4	54,271	78149,714
5	(+2.5/+7.5)	15	53	24,286	108,096	137498,657	17,75	71,464	90901,89	40,703	51774,186
10	(+7.5/+12.5)	10	24	22,857	72,064	41509,0286	18,5	47,643	27442,08	27,135	15629,943
			182		972,868	594097,971		643,174	392764,770	366,327	223703,557

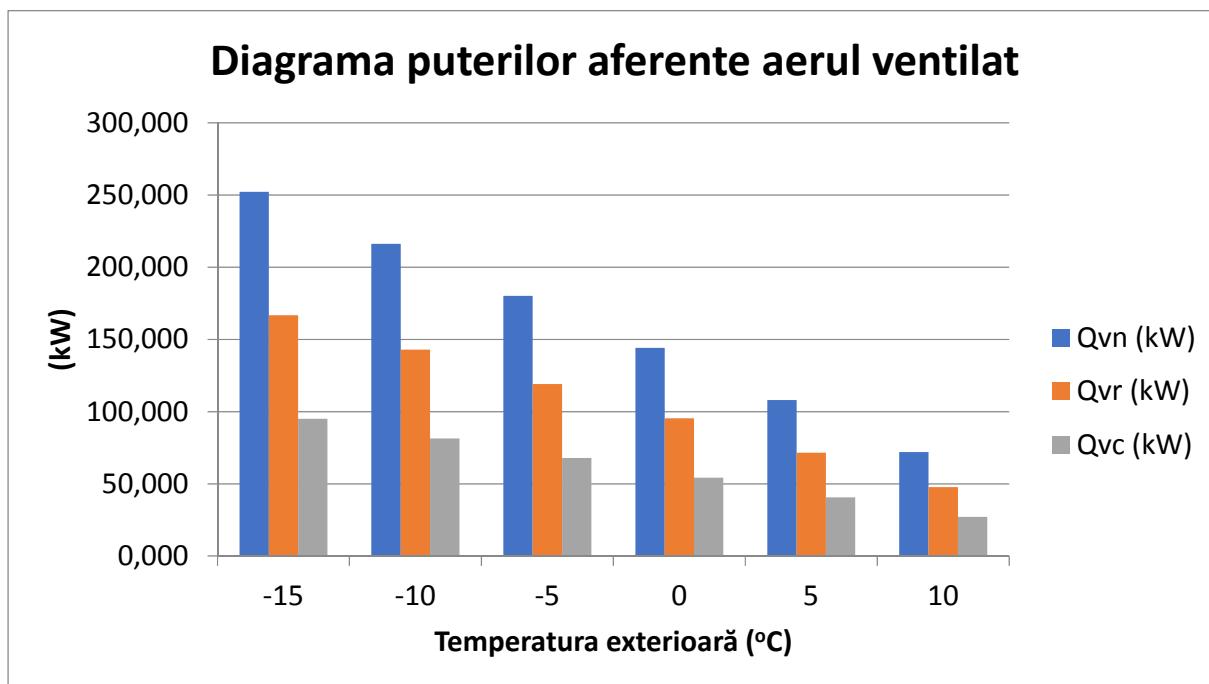


Fig. 2

Conform tabelului 1 și fig. 2, dat fiind că s-a considerat o eficiență a roții recuperatoare de 85%, rezultă că valoarea contribuției recuperării este sensibil mai mare decât contribuția centralei termice. Trebuie menționat faptul că s-a luat în considerare și un randament de lucru al centralei termice de 90%. De asemenea, trebuie menționat faptul că nu s-a luat în considerare puterea și energia electrică consumată pentru circulația aerului evacuat și a celui proaspăt și nici energia mecanică utilizată la învârtirea roții recuperatoare.

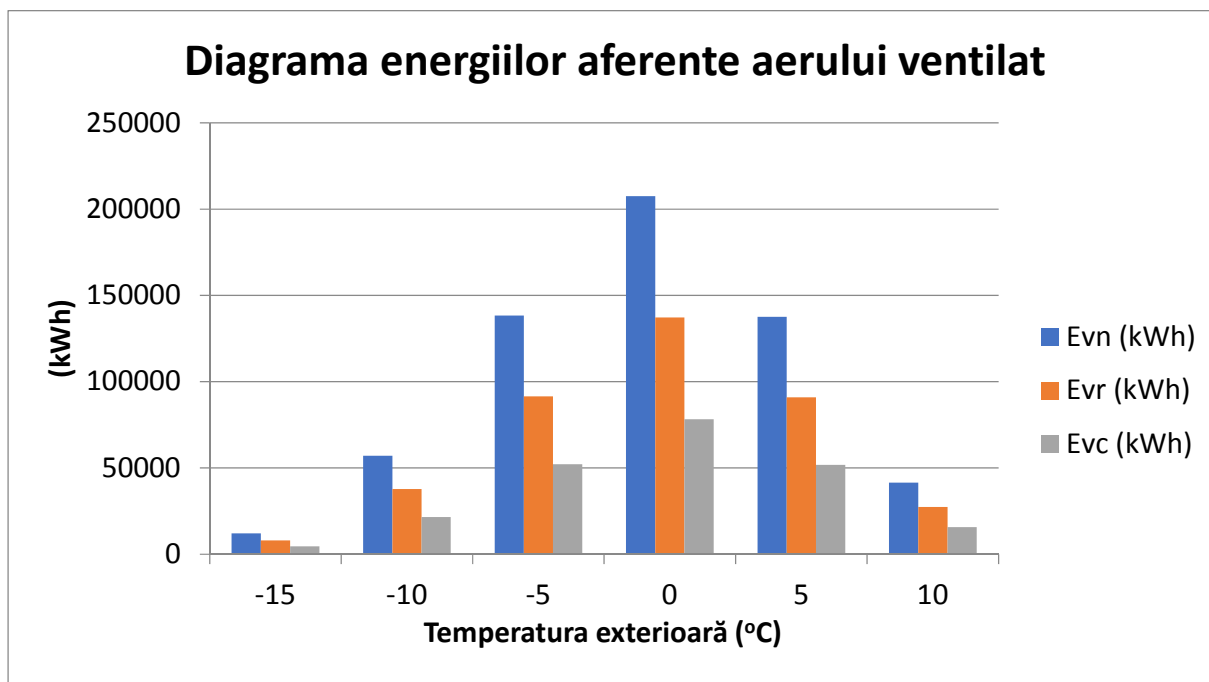


Fig. 3

Dacă se face un bilanț pe întreg anul în ceea ce privește consumul energetic furnizat prin debitul de aer ventilat se constată că din totalul celor 594,097 MWh, 392,765 MWh sunt furnizați prin recuperare și 223,704 MWh sunt furnizați prin consum de combustibil fosil, adică 66% prin recuperare și 34% prin centrala termică.

În ceea ce privește puterea și energia furnizată prin intermediul instalației de încălzire centrală de joasă temperatură cu sursă de bază pompa de căldură și sursă de rezervă centrala termică, s-a realizat și publicat o lucrare cu explicații detaliate în ceea ce privește analiza energetică, exact pentru o clădire caracterizată de un factor de transmitanță $H = 1000 \text{ W/K}$ [2]. În consecință se vor prelua direct concluziile din [2] prin tabelul și diagramele corespunzătoare.

Al doilea caz analizat a fost cel al utilizării unei pompe de căldură tip aer-apă în care temperatura sursei reci este temperatura aerului exterior, variabilă pe parcursul sezonului rece. În tabelul 2 se prezintă rezultatele obținute. Primele 2 linii semnifică acoperirea energetică parțial de pompa de căldură și parțial de centrala termică care lucrează cu un randament de 90%, iar următoarele 4 linii semnifică acoperirea energetică integral de pompa de căldură. Pentru evaluarea gradelor de acoperire energetică realizate de pompa de căldură în domeniul temperaturilor exterioare reprezentate prin mediile de -10°C și -15°C, s-a considerat că motorul compresorului pompei nu poate absorbi din

rețeaua electrică o putere mai mare decât cea nominală corespunzătoare zonei de temperaturi exterioare reprezentate de media de -5°C , pentru care după cum se vede din tabelul 2 este în valoare de 5509,85 W. De asemenea temperatura medie a agentului termic încălzit de către condensatorul pompei de căldură se menține pe valoarea corespunzătoare unei temperaturi exterioare de -5°C , adică 33°C . Puterea livrată la condensatorul pompei de căldură la temperaturi exterioare de -10°C și -15°C de această dată scade față de valoarea corespunzătoare temperaturii exterioare de -5°C datorită scăderii temperaturii aerului exterior.

Tabel 2

t_e ($^{\circ}\text{C}$)	θ_{CD0} ($^{\circ}\text{C}$)	θ_{CD} ($^{\circ}\text{C}$)	COP_{CD} (-)	P_{cs} (W)	P_{cd+th} (W)	P_{el+cb} (W)	P_{vp} (W)	E_{cs} (kWh)	E_{et} (kWh)
-15	38.20	33,00	3,755	35000	35000	26870,97	11573,76	1680	1433,118
-10	35.60	33,00	4,110	30000	30000	19824,28	12915,78	7920	5815,121
-5	33.00	33.00	4.54	25000	25000	5509.85	21143.11	19200	4231.56
0	30.40	30.40	5.35	20000	20000	3741.22	17381.15	28800	5387.36
5	27.80	27.80	6.53	15000	15000	2297.42	13391.80	19080	2922.32
10	25.20	25.20	8.43	10000	10000	1186.81	9169.24	5760	683.60
								82440	20473,08
								COP_{sis}	4,027

Până la temperatura exterioară în zona -5°C pompa de căldură are capacitatea de a acoperi necesarul de căldură al consumatorului, urmând ca la temperaturi mai scăzute să intervină și centrala termică pentru completarea surplusului de putere termică. Pompa de căldură lucrează însă cu un COP aferent temperaturii exterioare de -5°C iar acoperirea surplusului de către centrala termică făcându-se cu un randament de 90%. Se observă că se poate vorbi de un coeficient de performanță global anual, SPF, valoarea acestuia fiind de data aceasta 4,03. Energia utilizată la nivelul clădirii este în majoritate energie electrică (76,5%) și doar în mică măsură energie termică (23,5%). O imagine mai clară o putem obține grafic din figurile 4 și 5.

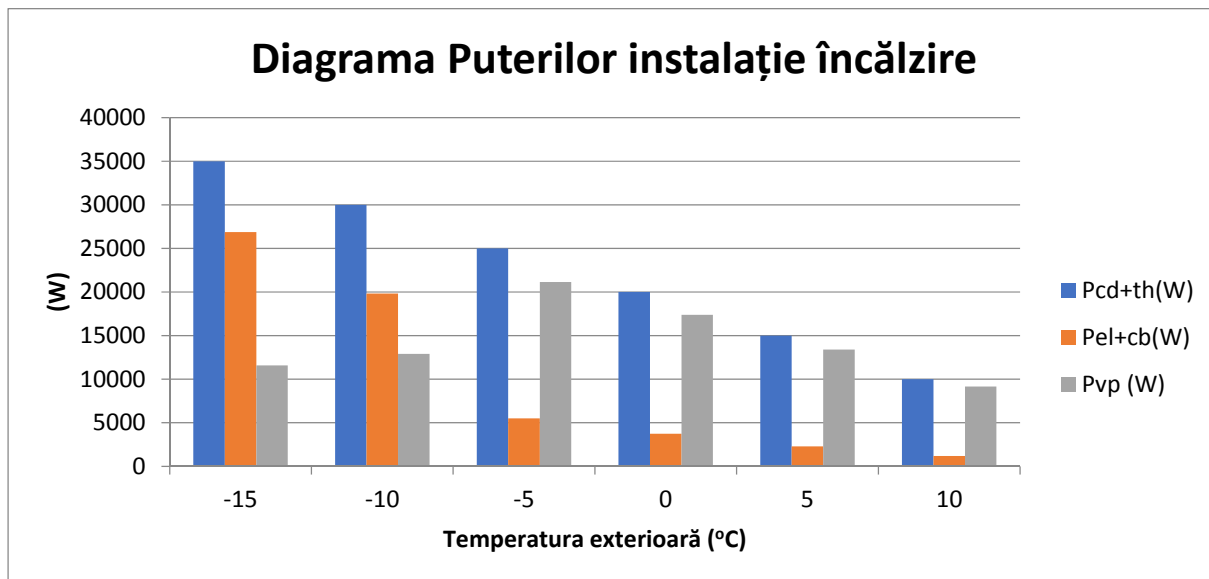


Fig. 4

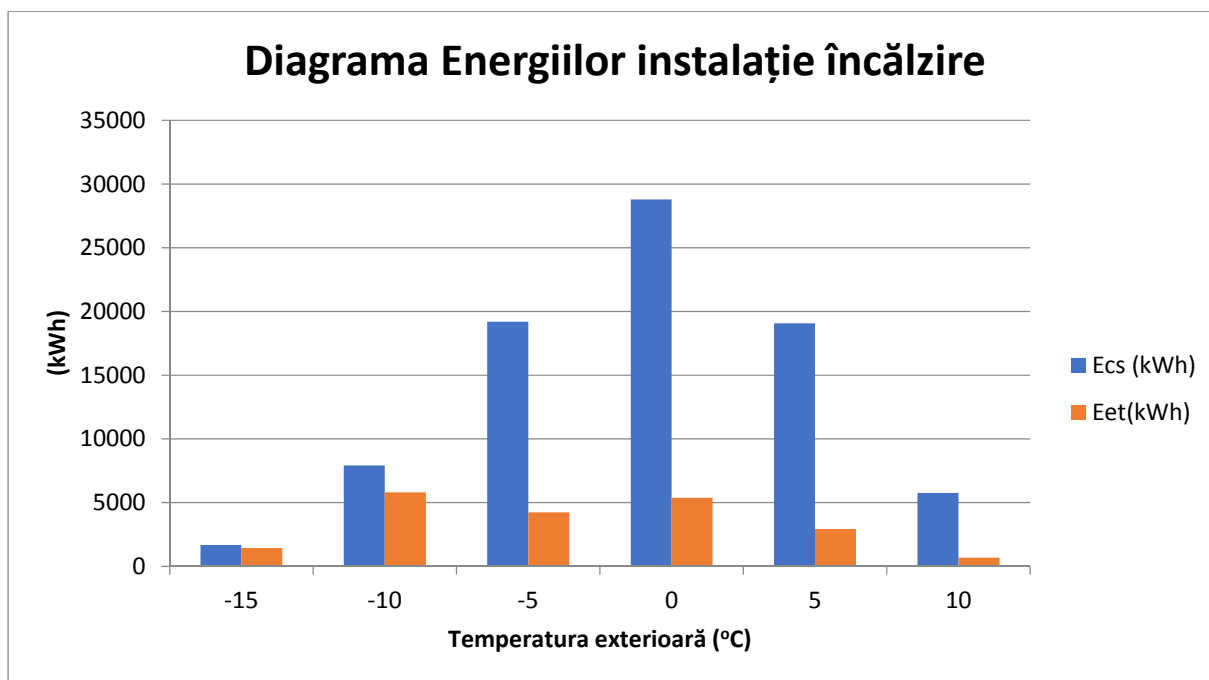


Fig. 5

Este interesant de prezentat situația energetică pe ansamblul clădirii atât prin intermediul aerului încălzit cât și prin instalația de încălzire de joasă temperatură.

Tabel 3

	incalzire aer			incalzire apa			incalzire aer + apa		
	Ev _n (kWh)	Ev _r (kWh)	Ev _c (kWh)	Ec _d (kWh)	Ep _c (kWh)	Et _h (kWh)	Ec _s (kWh)	Er _p (kWh)	Ee _t (kWh)
-15	12106,8	8003,94	4558,733	1680	246,882	1433,118	13786,8	8250,822	5991,852
-10	57074,9143	37732,86	21491,17	7920	2104,879	5815,121	64994,91	39837,739	27306,293
-5	138363,429	91473,6	52099,81	19200	14968,437	4231,563	157563,4	106442,04	56331,372
0	207545,143	137210,4	78149,71	28800	23412,642	5387,358	236345,1	160623,04	83537,072
5	137498,657	90901,89	51774,19	19080	16157,679	2922,321	156578,7	107059,57	54696,507
10	41509,0286	27442,08	15629,94	5760	5076,399	683,601	47269,03	32518,479	16313,544
IARNA	594097,971	392764,8	223703,6	82440	61966,918	20473,082	676538	454731,69	244176,639

În tabelul 3 se prezintă necesarurile de căldură, energiile regenerabile livrate și energiile neregenerabile livrate prin aerul ventilat, prin instalația de încălzire de joasă temperatură și pe ansamblu pentru fiecare perioadă din sezonul rece și pentru întreg sezonul rece. O imagine mai clară se poate observa din transpunerea grafică a datelor din tabelul 3 în diagramele din figurile 6...11.

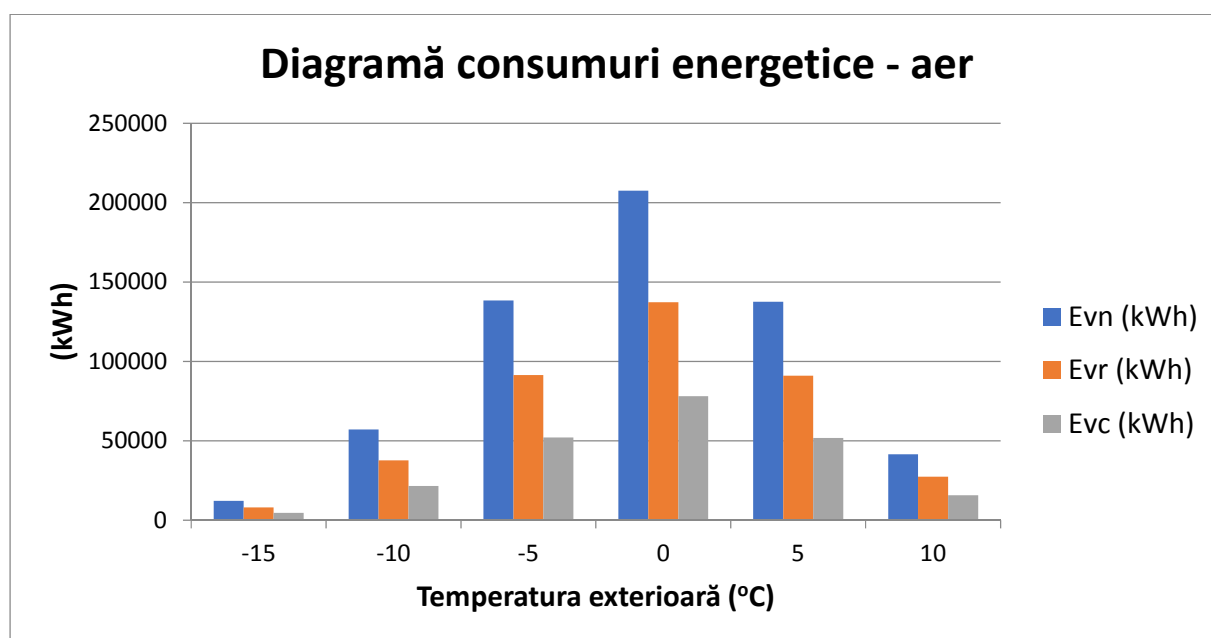


Fig. 6

Clădire cu consum redus de energie termică. Surse regenerabile – recuperare de căldură și pompă termică

Diagrama din fig. 6 prezintă pe parte de aer ventilat - necesarul de energie al clădirii, energia regenerabilă și energia neregenerabilă.

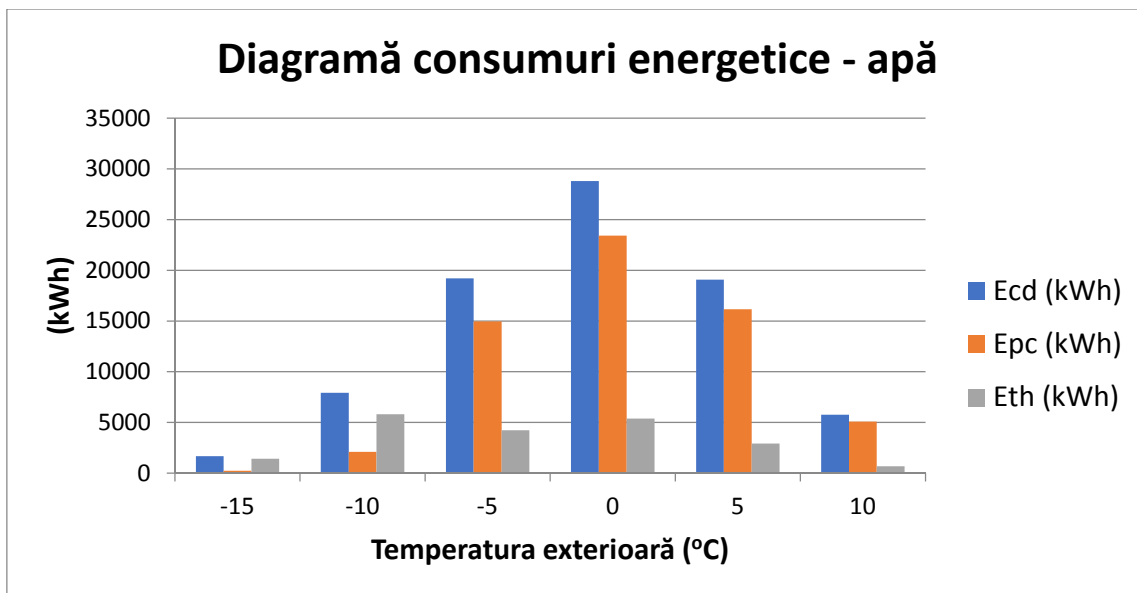


Fig. 7

Diagrama din fig. 7 prezintă pe partea ce revine instalației de încălzire – necesarul de energie al clădirii, energia regenerabilă și energia neregenerabilă.

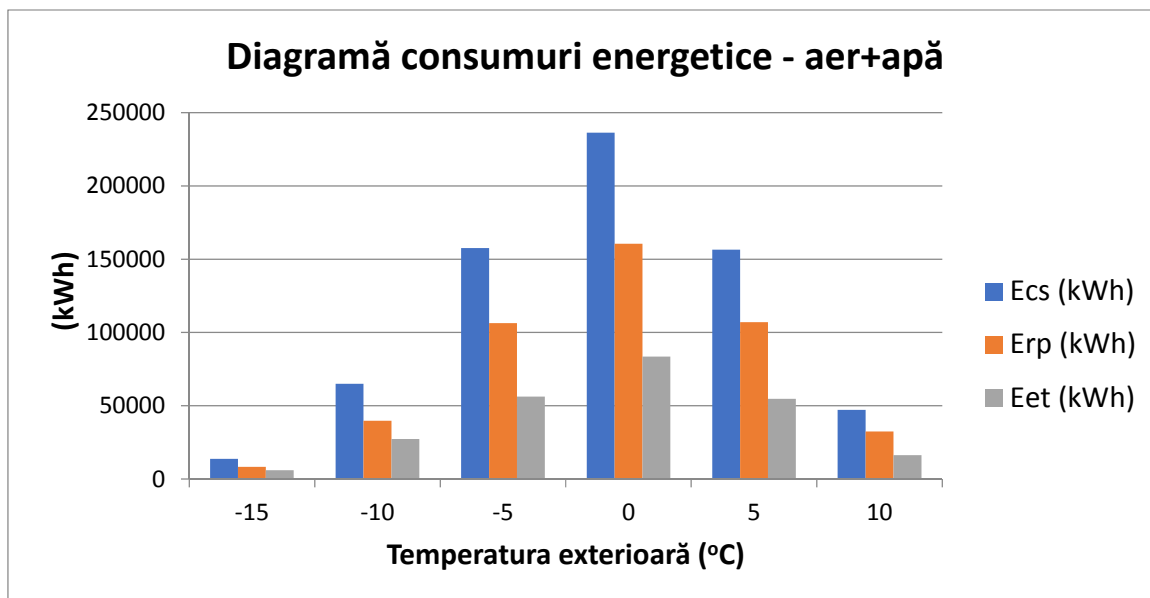


Fig. 8

Diagrama din fig. 8 prezintă atât pe partea de ventilare cât și pe cea de încălzire – necesarul de energie al clădirii, energia regenerabilă și energia neregenerabilă.

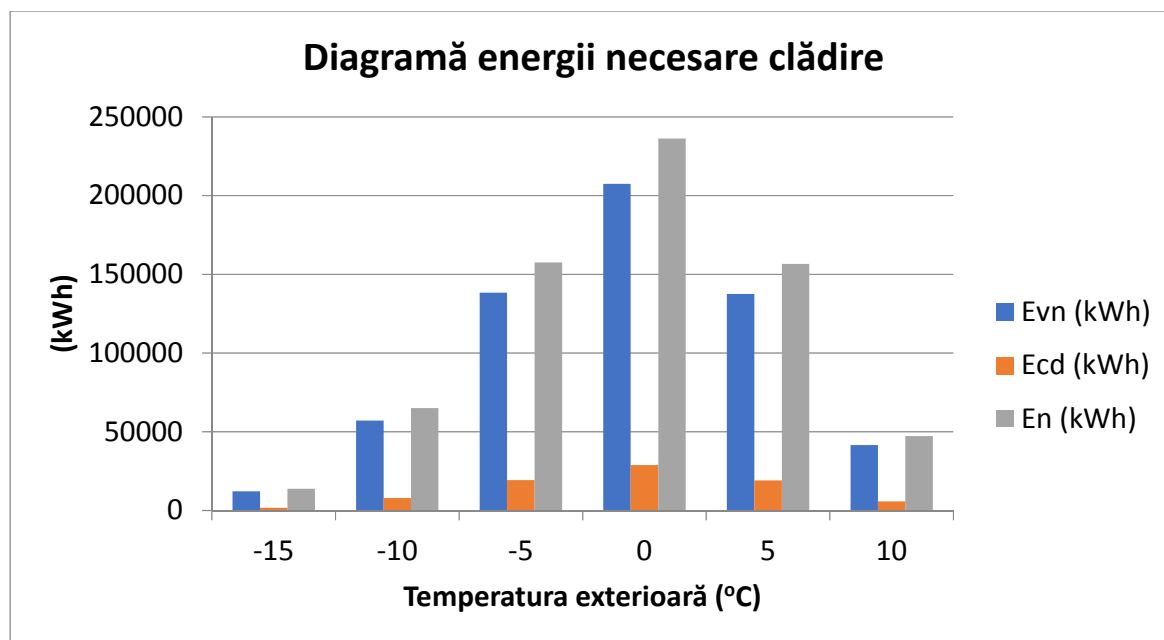


Fig. 9

Diagrama din fig. 9 prezintă global, ventilare și încălzire, comparativ situația energiilor – necesar total clădire, necesar ventilare și necesar încălzire.

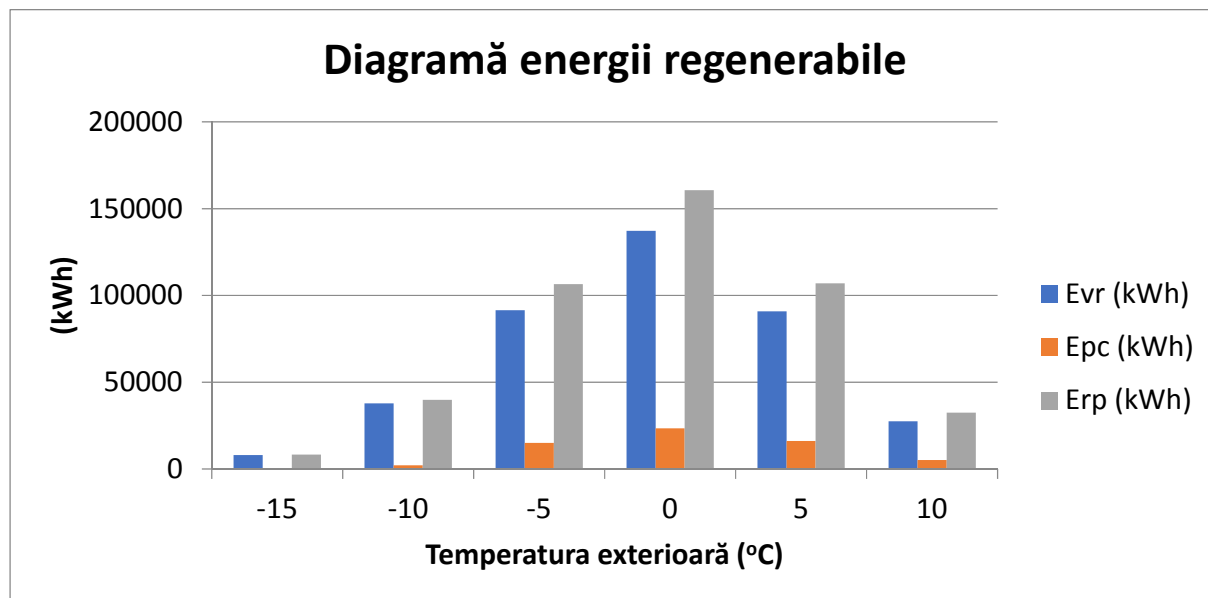


Fig. 10

Clădire cu consum redus de energie termică. Surse regenerabile – recuperare de căldură și pompă termică

Diagrama din fig. 10 prezintă situația energiilor regenerabile – total pe clădire, ventilare și încălzire.

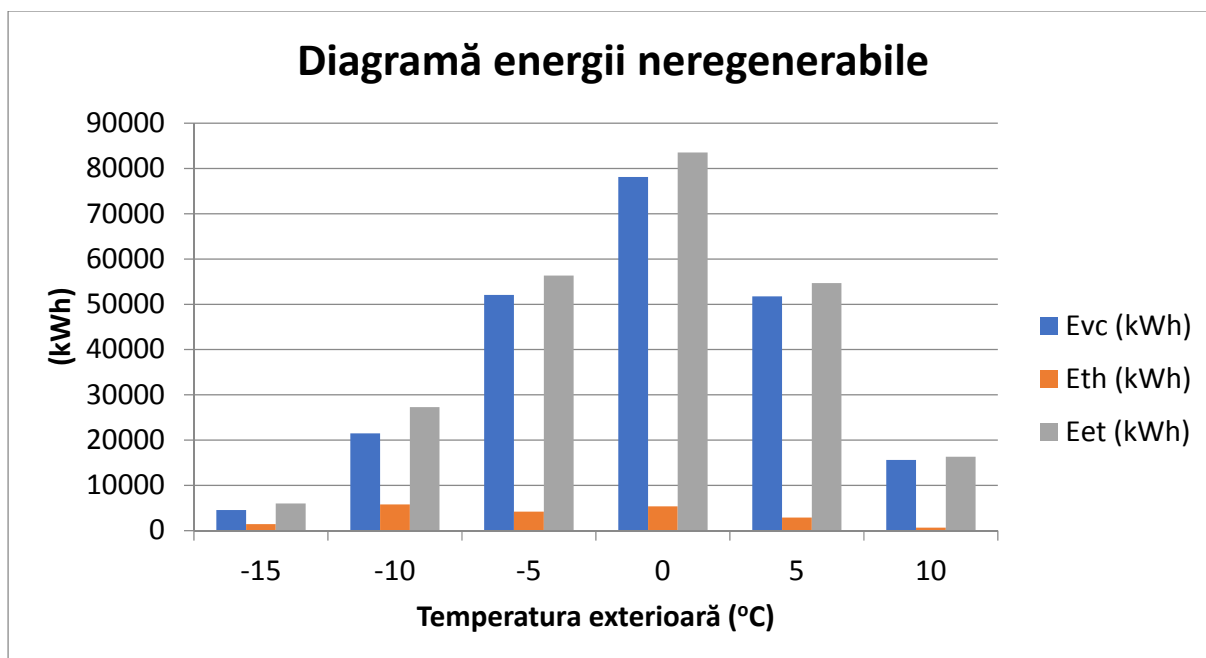


Fig. 11

Diagrama din fig. 11 prezintă situația energiilor neregenerabile – total pe clădire, ventilare și încălzire. Cumulând energiile la nivelul întregului sezon rece rezultă setul de diagrame din figurile 12...17 care urmează și care permit de asemenea o analiză comparativă.

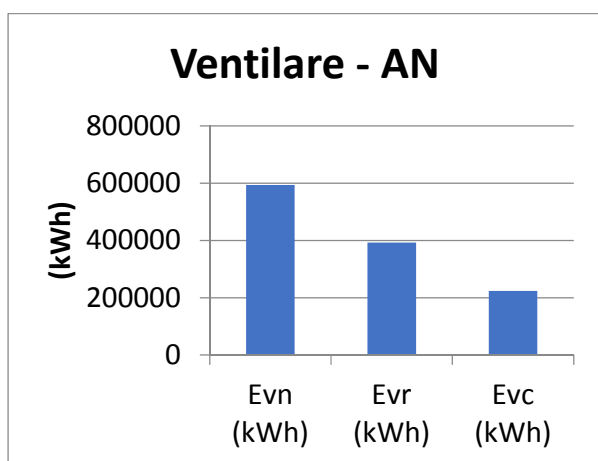


Fig. 12

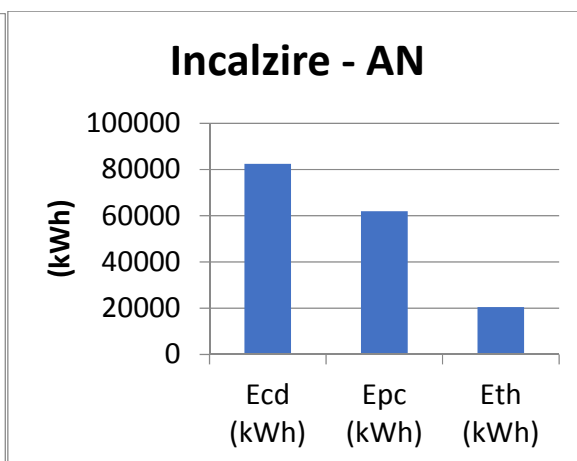


Fig. 13

Diagrama din fig. 12 prezintă situația anuală a energiilor pe partea de aer, iar diagrama din fig. 13 prezintă situația anuală a energiilor pe partea de încălzire.

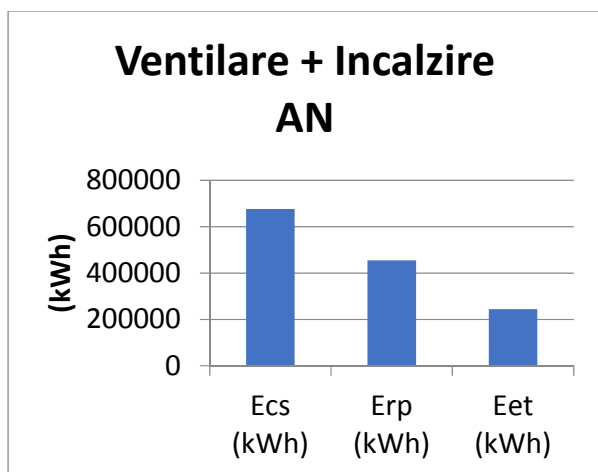


Fig. 14

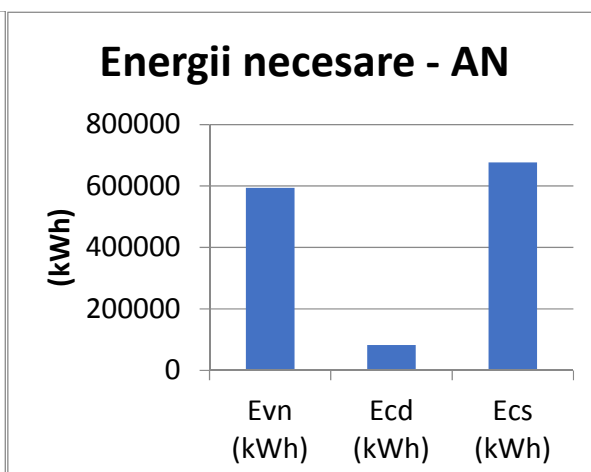


Fig. 15

Diagrama din fig. 14 prezintă situația anuală a energiei totale necesare, energiei regenerabile și a energiei neregenerabile, iar diagrama din fig. 15 prezintă situația anuală a energiilor necesare pe parte de ventilare, de încălzire și totale.

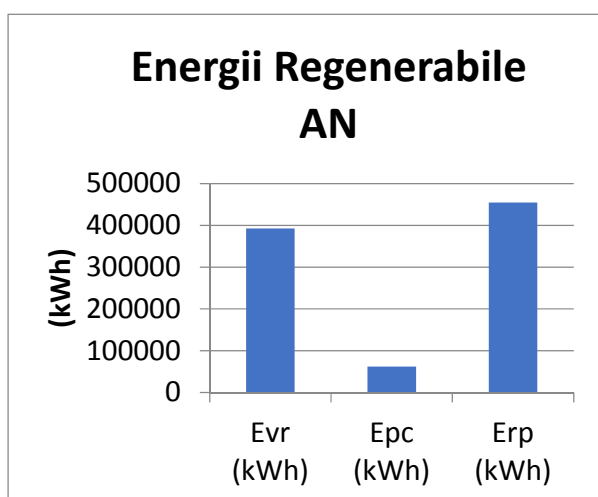


Fig. 16

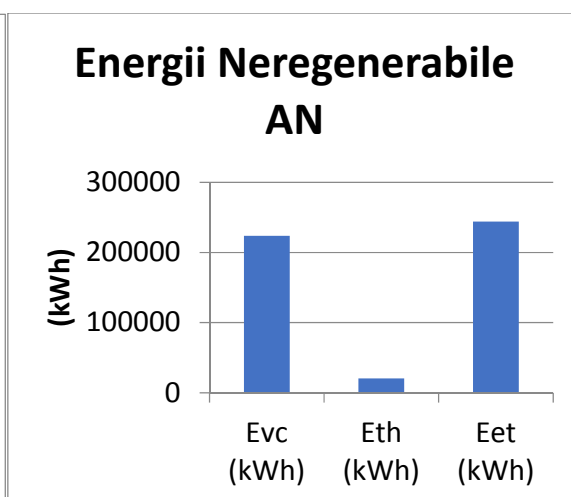


Fig. 17

Diagrama din fig. 16 prezintă situația anuală a energiilor regenerabile pe parte de ventilare, de încălzire și totale, iar diagrama din fig. 17 prezintă situația anuală a energiilor neregenerabile pe parte de ventilare, de încălzire și totale.

4. Concluzii

Analiza energetică efectuată în cadrul lucrării se referă la o clădire bine izolată termic, astfel încât puterea termică livrată prin intermediul debitului de aer proaspăt încălzit are o contribuție majoritară în acoperirea necesarului de căldură al clădirii. Este importantă și contribuția de putere termică a instalației de încălzire de joasă temperatură însă contribuția acesteia este minoritară. Acest lucru reprezintă un rezultat al primei părți a lucrării unde se stabilește o corelație între numărul de schimburi de aer al volumului spațiului încălzit, coeficientul global de izolare termică al clădirii și gradul de acoperire energetică oferit de secțiunea de ventilare.

Analiza energetică se referă distinct la secțiunea de ventilare, la secțiunea de încălzire centrală și pe ansamblul clădirii. Fiecare din cele două secțiuni menționate prin care se livrează putere termică în spațiul clădirii în vederea acoperirii necesarului de căldură este dotată atât cu sursă clasică cât și cu sursă regenerabilă: secțiunea de ventilare cu roată recuperatoare iar secțiunea de încălzire cu pompă de căldură.

Rezultatele obținute sunt prezentate tabelar și grafic printr-un set de diagrame referitoare la puterile termice și la energiile livrate prin fiecare din componentele celor două secțiuni și pe ansamblul lor. Diagramele prezintă comparativ situația lunară și anuală a puterilor și energiilor pe cele două secțiuni menționate.

Lista de Notatii

- t_{i0} – temperatura interioară normată, °C;
- t_{e0} – temperatura exterioară de calcul, °C;
- t_e – temperatura exterioară, °C;
- t_{r0} – temperatura de refulare a aerului proaspăt încălzit nominală, °C;
- t_r – temperatura de refulare a aerului proaspăt încălzit, °C;
- L_0 – debitul de aer proaspăt refulat, m³/s;
- H – transmitanța clădirii, W/K;
- G – coeficientul global de izolare termică al clădirii, W/m³.K;
- R_m – rezistența termică medie a anvelopei clădirii, m².K/W;
- n_a – numărul orar de schimburi de aer, h⁻¹;
- V – volumul spațiului încălzit, m³;
- S – suprafața anvelopei clădirii, m²;
- ρ_a – densitatea aerului, kg/m³;
- c_a – căldura specifică masică a aerului, J/kg.K;
- G_{AEv} – grad de acoperire energetică din ventilare, -;
- Q_{vn} – puterea termică necesară pe parte de ventilare, kW;

Q_{vr} – puterea termică regenerabilă pe parte de ventilare, kW;
 Q_{vc} – puterea termică neregenerabilă pe parte de ventilare, kW;
 P_{cs} – puterea termică necesară totală, kW;
 P_{vp} – puterea termică regenerabilă pe parte de încălzire, kW;
 P_{el+cb} – puterea neregenerabilă, kW;
 θ_{CD0} – temperatura nominală a agentului termic din instalația de încălzire, °C;
 θ_{CD} – temperatura curentă a agentului termic din instalația de încălzire, °C;
 COP_{CD} – coeficientul de performanță al pompei de căldură, -;
 E_{vn} – energia lunară, anuală necesară pe parte de ventilare, kWh;
 E_{cd} – energie lunară, anuală necesară pe parte de încălzire, kWh;
 E_{cs} – energia lunară anuală necesară totală, kWh;
 E_{vr} – energia lunară, anuală regenerabilă pe parte de ventilare, kWh;
 E_{pc} – energia lunară, anuală regenerabilă pe parte de încălzire, kWh;
 E_{rp} – energia lunară, anuală regenerabilă totală, kWh;
 E_{vc} – energia lunară, anuală neregenerabilă pe parte de ventilare, kWh;
 E_{th} – energie lunară, anuală neregenerabilă pe parte de încălzire, kWh;
 E_{et} – energia lunară, anuală neregenerabilă totală, kWh;

Bibliografie

- [1] Florin Iordache – Echipamente și sisteme termice. Metode de evaluare energetică și funcțională (culegere de articole) – editura Matrixrom 2017 – pag. 18-28;
[2] Florin Iordache, Mugurel Tălpigă – Modelare funcțională și energetică a unui sistem compus din pompă de căldură, instalație de încălzire centrală și clădire – Revista Română de Inginerie Civilă, editura Matrixrom, 2018 (în curs de publicare);

Dezvoltare durabilă sau sustenabilitate

Sustainable development or sustainability

Prof. em. Dr. Ing. Adrian RETEZAN¹, Dr. Ing. Ioan Silviu DOBOȘI²,
Dr. Ing. Remus RETEZAN³

¹ Universitatea Politehnica Timișoara

² S.C. Dosetimpex SRL Timișoara

³ S.C. Somial Consulting SRL Timișoara

Moto:

Informația nu este cunoaștere.

Singura sursă a cunoașterii este experiența.

(Albert Einstein)

Abstract:

The technical actions, in particular, take into consideration sustainability in the way of approaching and solving issues. Besides underlining its necessity (with the help of comments and examples), our paper also presents a couple of specific ways of approaching and solving issues.

Both notions are to be accepted as applicable, giving sustainability the meaning it has earned.

Key words: sustainable development, sustainability.

Rezumat:

Acțiunile tehnice, cu precădere, au în vedere sustenabilitatea în modul de abordare și rezolvare. Lucrarea, pe lângă susținerea necesității (prin comentarii și exemple) vine cu câteva moduri de abordare / rezolvare specifice. Se accepta cele două noțiuni ca "lucrative" dând sustenabilității înțelesul pe care și l-a câștigat.

Cuvinte cheie : dezvoltare durabilă, sustenabilitate.

1. Date preliminare

Conceptul de dezvoltare durabilă desemnează totalitatea formelor și metodelor de dezvoltare socio-economică care se axează în primul rând pe asigurarea unui echilibru între aspectele sociale, economice, ecologice și elementele capitalului natural [1].

Termenul de sustenabilitate este folosit pentru definirea activităților, proiectelor care sunt viabile și se pot dezvolta prin forțe proprii, când există resurse necesare pentru funcționarea optimă [2].

Fiecare om este interesat despre "ziua de mâine", dar orizonturile de interes diferă, acestea sunt influențate de foarte mulți și diferiți factori (de la nivelul de

educație la dorința de dominare, trecând prin apartenența socială, națională, corporatistă/financiară etc). În acest context, la inițiativa lui Aurelio Pecei (industriș italian) și Alexandre King (om de știință scoțian), a fost fondat Clubul de la Roma care urma să răspundă complexelor subiecte privind viitorul Terrei.

Atenția ”publicului” a fost atrasă de publicarea, în 1972, a raportului „Limitele creșterii” a lui Denis Meadows (cercetător la Massachusetts Institute of Technology-angajat al Clubului de la Roma pentru elaborare proiectului de activități), raport care preciza că ”daca se mențin tendințele actuale de creștere a populației mondiale, ale industrializării contaminării mediului înconjurător, producției de alimente și epuizării resurselor această planetă va atinge limitele creșterii în următorii 100 ani. Rezultatul cel mai probabil ar fi o scădere subită și incontrollabilă atât a populației cât și a capacității industriale [3].

(De menționat este faptul că grupul informal, format din șase persoane, neavând o existență corporativă, pe 17 septembrie 1973 au publicat proiectul, ”Regionalized and adoptive Model of the Global World System” care poate fi considerat ”actul de naștere” al așa numitei ”globalizări”, propunând zece regiuni socio-economice care să fie conduse, mai apoi de un singur guvern. România făcea parte din regiunea a 5-a ”Europa de Răsărit”).

Raportul Meadows menționează/introduce termenul de ”dezvoltare durabilă”, ”precizându-i și indicatorii”:

- Creșterea populației;
- Impactul industrializării;
- Efectele poluării;
- Producția alimentară
- Tendințele de epuizare a surselor naturale.

Sub egida Națiunilor unite lucrările Comisiei mondiale pentru Mediu și Dezvoltare (înființată în 1985) emite ”raportul Brundtland” intitulat ”Viitorul nostru comun”, pe baza căruia la Conferința Națiunilor Unite de la Rio de Janeiro (iunie 1992) s-a afirmat că ”dezvoltarea durabilă este concepută în viziunea reconcilierii dintre economie și mediul înconjurător, pe o nouă cale de dezvoltare care să susțină progresul uman, nu numai în câteva locuri și pentru ni, ci pentru întreaga planetă și pentru viitor îndelungat” [3].

Urmărind oferta de consultanță a factorilor de decizie în analiza problemelor naționale au luat ființă Asociații Naționale ale Clubului de la Roma, inclusiv în România.

2. Mod de abordare

Dezvoltarea durabilă (având etimologia cuvintelor latinofranceză) și sustenabilitate (de proveniență anglo-americană), au avut la un moment dat (cca 1965) și forma ”sustainable growth” [4] aceste sintagme exprimând, în fond același lucru pe care în 2001, secretarul general al ONU, îl caracteriza ca fiind ”cea mai mare provocare pentru noi în acest secol este să ne facem o idee despre ce pare un concept abstract și să îl transformăm în realitate pentru toți oamenii din lume”. (Datorită

”rezonanței” sustenabilitatea a fost preluată de politicieni, jurnaliști devenind cuvinte-cheie, concepte integratoare, chiar [4], necesitând precizări privind domeniul (”speță”) la care se aplică, riscând să ”dilueze/compromită” adevărata menire: menținerea sănătății și vieții civilizate pe Terra).

Congresul Mondial ”Challenges for a Changing Earth 2001” organizat de Internațional Concil for Science, International Geosphere-Biosphere Programme, the International Humans Dimensions Programme on Global Environment Change și World Climate Research Programme au promovat ”Știința Sustenabilității” (Statement of Sustainability Science) care urmărește ”înțelegerea fundamentală avansată a dinamicii sistemelor OM-MEDIU; facilitarea conceperii implementării și evoluării intervențiilor practice în domenii și condiții date; îmbunătățirea legăturilor dintre comunitățile de inovare și cercetare relevante, pe de o parte și comunitățile relevante de management și politici, pe de altă parte” [5].

Programele de abordare a dezvoltării și aplicării teoriei sustenabilității presupun [6]:

- A. - Înțelegerea științei avansate a sistemului om-mediu înconjurător (natură, în ansamblul ei);
- B. - Îmbunătățirea/perfecționarea corelării cercetare-politică comunitară;
- C. - Capacitatea clădirilor de ”acceptare” a acțiunilor/măsurilor de promovare a sustenabilității.

În acest context ”ciclul de viață” al unei construcții (în cazul de față clădiri) este prezentat în Fig.1.

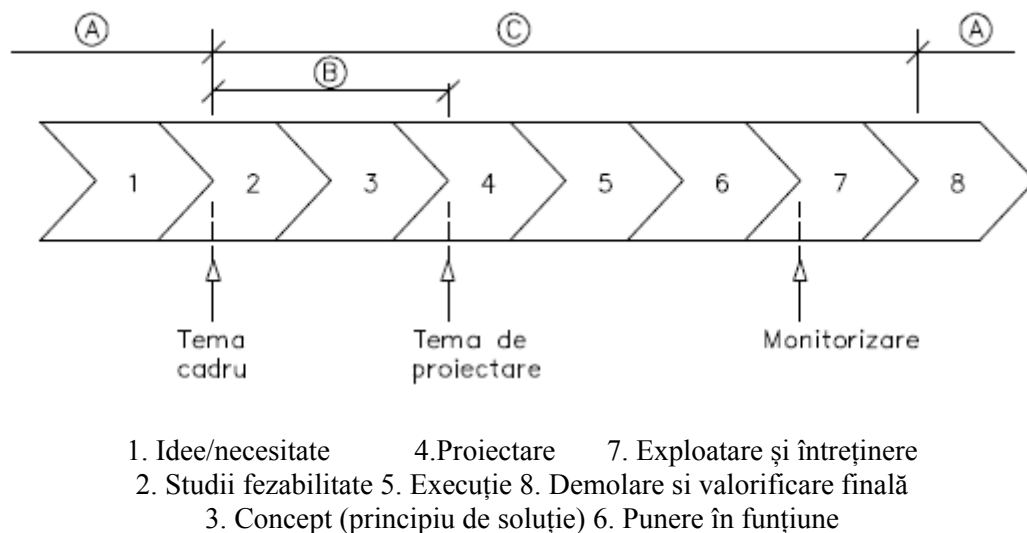


Fig.1 Abordare ”ciclul de viață” pentru construcții

Important este să acceptăm (să ne impunem) ca momentul T_0 al abordării sustenabile pentru construcții să nu fie ”amânat”, el putând fi demarat în oricare fază a ciclului de viață (adică acum!).

Dezvoltarea durabilă trebuie înțeleasă ca o orchestră completă care prin organizare și integrare oferă o lucrare completă.

Sustenabilitatea face același lucru, dar își propune finalul prin evidențierea fiecărei partide/familii instrumentale/instrument.

Rezultatul final depinde de ”dirijor,, care poate evidenția sau compromite o lucrare – care, în viață este o necesitate existențială.

(Din păcate mai sunt și dirijori care ”valorifică” în folos propriu grupe de instrumente sau la fel de grav renunță la orchestră).

3. Constatări, comentarii

Atât sintagma ”dezvoltare durabilă” cât și cea de ”evoluție sustenabilă” au apărut din necesitatea ca Terra să poată susține viața (măcar la nivelul actual). Amenințările la adresa Terrei/vieții sunt generate de;

- epuizarea resurselor naturale (energetice; materii prime; apă;
- degradarea mediului natural (poluarea apei/oceanului planetar; apelor de suprafață; soluri erodate, sărăturate, deșetificare, sigilări etc.; deteriorarea calității aerului;
- schimbările climatice.
- smogul, creșterea concentrațiilor poluanților s.a.m.d);
- accentuarea decalajelor economice, goana după profit, imposibilitatea (inclusiv cea socială – vezi fenomenul migrației, scădere nivel de trai, șomaj, înarmarea;

Dezvoltarea durabilă, unica soluție/politică viabilă a viitorului, nu poate fi obținută/realizată fără un sistem educațional amplu și eficient. (”Dezvoltarea durabilă nu poate fi opera unor analfabeți”).

Este nevoie de cunoștințe =educație pentru cercetare, rezolvare, mod de lucru, operare, comportament pentru ca întreaga comunitate (umană/locală, națională, globală) să respecte aceleași reguli (în ultimă instanță de bun simț/civism/cultură).

Abordarea globală (globalistă) a sustenabilității nu trebuie înțeleasă ”politic” ci ”tehnic”. Acest lucru presupune un mod de abordare al problemelor, care guvernează dezvoltarea durabilă, unitar ca direcție și sens, țință finală fiind conservarea mediului înconjurător, evident că în condițiile admisibilităților sociale și ale performanțelor economice (din care ”elementul” finanțe nu lipsește). Trebuie înțeles și mai ales acceptat – că dezvoltarea durabilă poate chiar ”submina” ”câștigul” – profitul nu este total, viața da – iaci trebuie să se manifeste rolul statelor/alianțelor/organizațiilor....

Dinamica cunoașterii a condus la abordarea sustenabilității la diferite niveluri de referință din perspective ecologice, sociale și economice, care presupun modalități specifice de combinare a diferitelor discipline teoretico-aplicative [9].

Astfel au apărut (în abordarea sustenabilității):

- pluridisciplinaritatea, prin care disciplinele ”apelate” își păstrează specificitatea, dezvoltând legături ”cumulative” pentru a crea o imagine mai complexă (și adevărată) a realității;

- interdisciplinaritatea, în care procesul de combinare și integrare al diferitelor discipline, împreună cu metodologiile și ipotezele lor de lucru, adaptate necesităților, constituie "instrumente" specializate de investigare a unor "subiecte" dificile;

- transdisciplinaritatea este specifică investigațiilor care abordează probleme care "traversează" granițele a două sau mai multe discipline, urmărind o abordare holistică (vizează o unitate a cunoașterii dincolo de disciplinele "izolate").

Spre exemplificare se menționează:

1. econofizica (termen introdus în 2006 de Eugen Stanley [10])

—domeniu de cercetare care în probleme economice aplică teorii și metode din fizică (de exemplu metodele probabilistice și statistice; modelele haotice; metode pentru prevenirea cutremurelor; metode cu criticalitate autoorganizatională);

2. geonomia – care studiază structura și echilibrul ocupării spațiilor naturale de către om sub triplu aspect; geografic; ecologic; socio-economic.

Progresul cunoașterii și studiile aplicate pot oferi soluții pentru rezolvarea situațiilor viitoare ale planetei a cărei evoluție conform specialiștilor ONU, arată că până în anul 2050, 70% din populația lumii va locui în zone urbane a căror infrastructură trebuie creată și/sau adaptată pentru a susține o dezvoltare durabilă, dezvoltare care trebuie a fi abordată de la simplu la complex (unitate constructivă - apartament, birou, hală etc. la zona metropolitană) și verificată/aplicată de la complex la simplu - vezi figura 2.

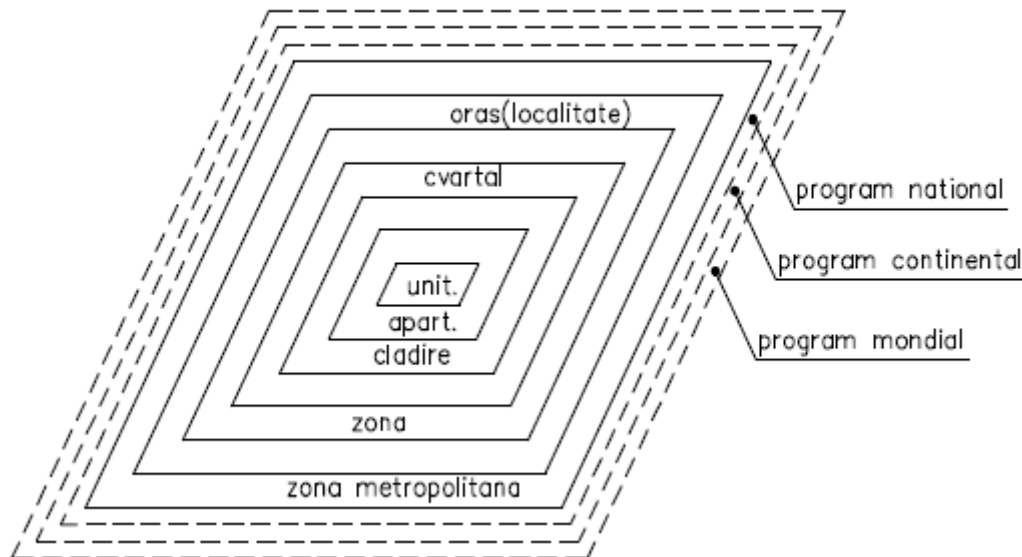


Fig.2. Specificații ale sustenabilității

Din suma politicilor de realizare a dezvoltării durabile se desprind câteva considerente ca fiind "motorul" reușitelor:

- asigurarea fondurilor;
- libertatea (locală/națională) a deciziilor;
- cooperarea (cinstită, urmărind binele tuturor);

- cunoașterea (soluțiile să fie date de specialiști în urma dezbaterilor/consultărilor și apoi adoptate spre punerea în practică de factorii decidenți);

- soluțiile adoptate să fie durabile (de exemplu: infrastructura stradală pentru New York, adaptată în 1807, cu câteva excepții, este urmată până astăzi).

- Politicienii pot (și trebui) să fie preocupați de dezvoltarea durabilă, un exemplu pozitiv [11] este primarul din Rio de Janeiro, Eduardo Paes, care își dorește un oraș inteligent – oraș al viitorului – prin:

1. Caracterul ECOLOGIC, obținut prin spații deschise și verzi, cu acces liber pentru oameni;

2. Facilități pentru MOBILITĂȚI și INTEGRAREA populației periurbane prin transport ieftin, de mare capacitate (navetă ”avantajoasă”);

3. INTEGRAREA SOCIALĂ asigurând / îmbunătățind infrastructura, spațiile comune, educație de calitate, sisteme medicale, adică oportunități egale pentru toți cetățenii;

4. Folosirea TEHNOLOGIILOR MODERNE ajungând la guvernarea orașului prin realizarea unui ”centru de operațiuni” (fără ”hârțogării”, arhive, fără distanțe, dar cu activitate 24/7/365).

Un alt exemplu de gândire sustenabilă pentru un mare oraș/metropolă îl constituie Singapore [12] unde au fost aplicate soluții eficiente ca:

1. Asigurarea unui transport ecologic prin dezvoltarea transportului în comun, asigurarea pistelor și ”închiriatul” bicicletelor, optimizarea accesului pietonal, dar și limitarea dreptului de deținere, pentru locuitori a mașinilor;

2. ”planificarea verde” urmărind reducerea amprente de carbon, dar și ”înverzirea” clădirilor (80% din clădiri până în 2030), plus numărul și diversitatea parcurilor.

3. Managementul apei cu performanțe de excepție prin recuperare și reutilizare, captarea și valorificarea apelor din precipitații, desalinizarea apei oceanului. (Precizare, în urmă cu cca.50 de ani apa pentru Singapore era importată din Malaezia).

Un model de lucru pentru implementarea sustenabilității (cu variante, este ilustrată în schema dată în figura 3.

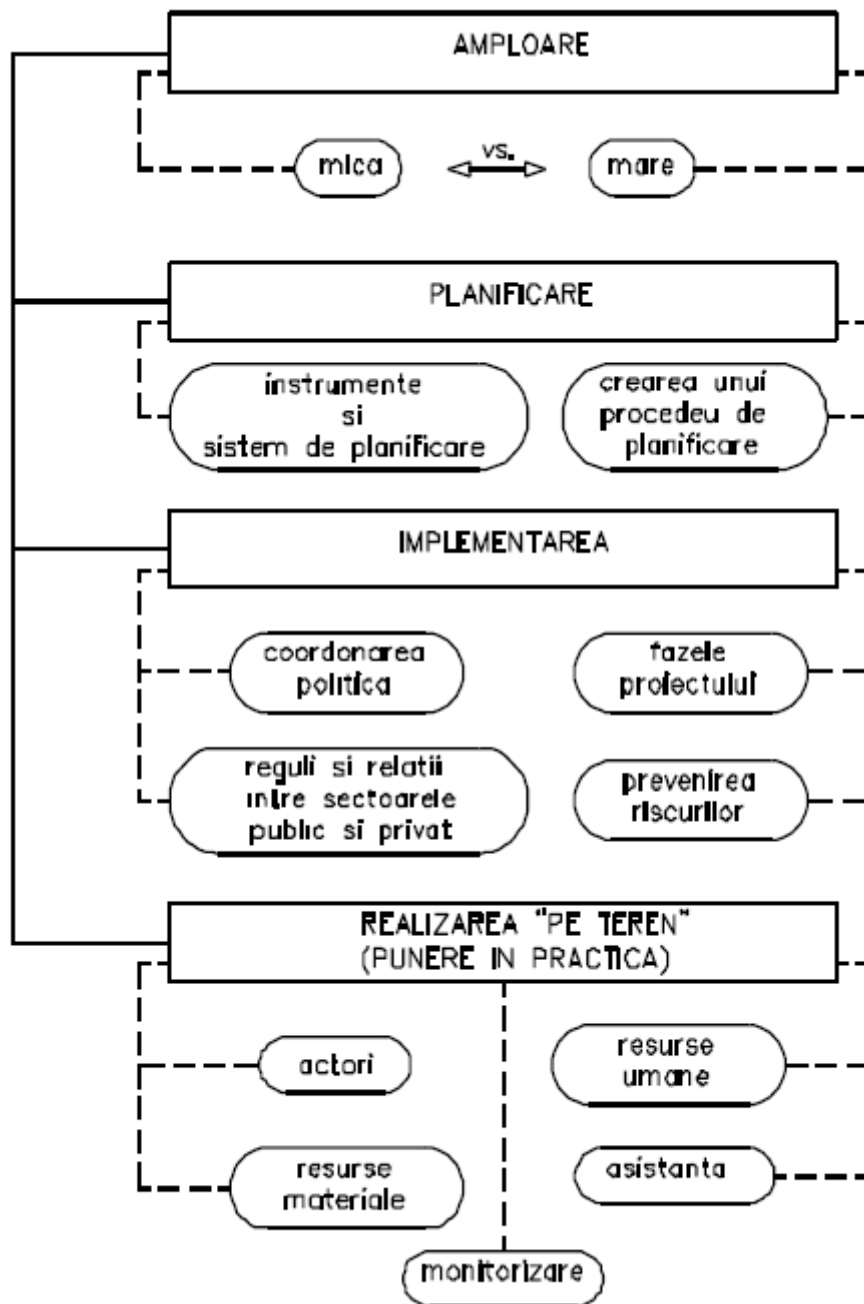


Fig.3 Mod de abordare pentru dezvoltarea durabilă (după [14])

3. Concluzii

Seriozitatea și responsabilitatea de abordare a dezvoltării durabile, respectiv sustenabilității, trebuie să fie deasupra oricărei forme de interes, cu excepția celui al asigurării vieții civilizate pe Terra.

Noțiunea de sustenabilitate este mai "largă" decât cea de dezvoltare durabilă, pe care o integrează, putându-se "confunda" cu termenul de "viabilitate" – termen pe care-l include, de asemenea -.

Abordarea în condițiile de aplicare a sustenabilității, analizei funcționale a unei clădiri, ca ține seama de ”timp”, adică de situația acestui obiectiv (clădirea) – există sau se va construi.

Complexitatea activităților, interacțiunilor, efectelor și consecințelor, intervențiilor etc. umane asupra propriilor interese și a existenței, în final, este bine să fie luate în seamă analizate și moderate /optimizate în condițiile nedegradării vieții/ condițiilor de viață viitoare, aceasta cu atât mai mult cu cât ”inerția” efectelor negative (în special) le maschează în primă instanță.

A gândi și acționa, în toate domeniile de activitate practică, sustenabil, devine o obligație nu numai o cerință (în nici un caz nu este vorba de o ”modă”sau ”capriciu”.

Pentru eficiența demersurilor dezvoltării durabile, fiecare situație particulară este ”eficient” a i abordată global/pluridisciplinar/interdisciplinar/transdisciplinar, pe specifice și după un plan (bine gândit) coerent. O situație dată trebuie gândită cu implicațiile din aval și efectele din amonte. Nu poate fi omisă responsabilitatea și implicarea politicianului în stagiile și realitățile dezvoltării durabile.

Bibliografie:

- [1]. Wikipedia.org/wiki/dezvoltare_durabilă.
- [2]. Despretot.info/sustenabil-dex-definiție.
- [3]. Wikipedia.org/wiki/clubul_de_la_Roma.
- [4]. Alexandru Ciolan – primul pe lista de termeni cheie a secolului XXI”sustenabil”, Ziarul Financiar, 20 mai 2010.
- [5]. [Mone.acad.ro/wp-content/upload/2014/Prelegere 3 sept.pdf](http://Mone.acad.ro/wp-content/upload/2014/Prelegere_3_sept.pdf).
- [6]. <http://www.cid.harvard.edu/sustsci>.
- [7]. <http://www.google.ro/search?q=amenajări+urbane+sustenabile>.
- [8]. Retezan A., Dobosi I.S., Gircsi R.,- Sustenabilitatea-factor de progres-Conferința Tehnico-Științifică, E.E.E.E Chișinău, R Moldova 27-29 aprilie 2017.
- [9]. Gh. Zaman, Zizi Goschin, - Multidisciplinaritatea, interdisciplinaritatea si transdisciplinaritatea: abordări teoretice și implicări pentru strategia dezvoltării durabile posteriză – Economie teoretică și aplicată, volXVII (2010) Nr.12 (553) PP 3-20.
- [10]. <http://ro.wikipedia.org/wiki/Ecofizică>.
- [11]. http://www.ted.com/.../eduardo_paes_the_4_commandents_of...
- [12]. Urbanizehub.ro/singapore-model-de-sustenabilitate-al-asiei/.
- [13]. [www.worldbank.org/ro/news/press-release/....](http://www.worldbank.org/ro/news/press-release/...)
- [14]. <http://urban-regeneration.worldbank.org/>.
- [15]. Retezan A., Tînnu P., Gircsis R., Sustenabilitatea între realitate și necesitate, Revista de instalații nr.5/2016.
- [16]. Retezan A., Bob C., Denscsak T., Considerații asupra sustenabilității și economia de energie (Partea I și II), Revista RO Instalatorul nr.6 si 8/2012.

Aplicarea procedurilor de determinare a scalelor energetice și prezentarea unui model pentru certificatul de performanță energetică

Applying the procedures for determining the energy scales and submitting a model for the energy performance certificate

Conf dr. ing. Cătălin Lungu ¹, Conf. dr. ing. Silviana Brata ²

¹ Universitatea Tehnică de Construcții București

² Universitatea Politehnica Timișoara

Abstract:

The determination of the energy performance scale for the total primary energy use of buildings and for the primary energy use by each building's technical system is achieved by two methods based on two referential elements: the energy performance regulation reference and the building stock reference for a specific category of buildings. In the paper, a comparative analysis is made between the energy limits of the scales by applying the procedures for apartment blocks in the second climate zone.

Also, elements of calculating the optimum cost levels of minimum energy performance requirements for buildings and their envelope components are presented. Finally, a model for the energy performance certificate for buildings is presented.

Key words: energy performance classes, energy performance certificate

Rezumat:

Determinarea scalelor energetice pentru energia primară totală la clădiri și pentru energia primară consumată de fiecare sistem tehnic al clădrii se realizează cu două metode care au la bază utilizarea a două referențiale: referința de reglementare a performanței energetice și referința pentru fondul construit de clădiri pentru o categorie specifică de clădiri. În lucrare se realizează o analiză comparativă între limitele energetice ale claselor scalelor prin aplicarea procedurilor pentru blocuri de locuințe din zona a doua climatică. De asemenea, sunt prezentate elemente de calcul al nivelurilor de cost optim al cerințelor minime de performanță energetică pentru clădiri și elemente de anvelopă ale acestora. În final se prezintă un model pentru certificatul de performanță energetică pentru clădiri.

Cuvinte cheie : clase de performanță energetică, certificat de performanță energetică

1. Introducere

Directiva 2010/31/UE pune în evidență faptul că sectorul construcțiilor, care este în continuă dezvoltare, este una din principalele surse de emisii de dioxid de carbon. Reducerea consumului de energie din sectorul construcțiilor și utilizarea energiei din surse regenerabile ar permite UE să respecte angajamentul de a reduce

emisile globale de gaze cu efect de seră, până în anul 2020, cu cel puțin 20 % sub nivelurile din 1990 [1].

Obiectivele de eficiență energetică ale UE se concretizează în Directiva 2012/27/UE, prin faptul că, în 2020, consumul de energie să fie maxim de 1474 Mtep de energie primară sau maxim de 1078 Mtep de energie finală [2].

România și-a stabilit obiectivul național de eficiență energetică prin realizarea unei economii de energie primară de 10 Mtep până în anul 2020 ceea ce reprezintă o reducere cu 19% a consumului de energie primară prognozat de 52,99 Mtep [3]. În Planul Național de Acțiune în domeniul eficienței energetice din 2014 se prezintă măsurile prevăzute pentru atingerea obiectivului asumat de România și încadrarea în cerințele Directivei 2012/27/UE.

La nivel național, consumul de energie în clădiri rezidențiale și nerezidențiale reprezintă 45 % din consumul total de energie [3].

Măsurile de creștere a eficienței energetice în clădiri se concretizează în strategia pentru creșterea investițiilor în renovarea fondului de clădiri existent prezentată în Planul Național de Acțiune în domeniul eficienței economice din 2014.

Regulamentul delegat UE nr. 244/2012 al Comisiei stabilește cadrul metodologic pentru calcularea nivelurilor optime, din punctul de vedere al costurilor, ale cerințelor minime de performanță energetică a clădirilor.

2. Cadrul metodologic pentru determinarea costurilor optime

În conformitate Directiva 2010/31/UE statele membre trebuie să definească clădiri de referință în sensul metodologiei privind nivelul optim al costurilor. Clădiri de referință reprezintă o clădire tipică și medie pentru categoria de clădire respectivă la nivel național.

Cadrul metodologic precizează normele pentru compararea soluțiilor de eficientizare energetică și stabilește modul de aplicare a acestor norme pentru clădirile de referință.

În cadrul documentației MDRAP "Cercetare referitoare la cadrul metodologic de calcul al nivelurilor de cost optim al cerințelor minime de performanță energetică pentru clădiri și elemente de anvelopă ale acestora", Faza 2, raport final, publicat în 26.03.2014, [6] s-au stabilit clădirile de referință pentru clădirile reprezentative noi și existente la nivel național și s-au calculat costurile optime în funcție de măsurile de eficiență energetică luate în considerare.

Costurile considerate în calcule reprezintă costuri globale în termeni de valoare netă actualizată pentru fiecare clădire de referință care se referă la:

- costurile investiției inițiale;
- costurile anuale:
- costurile cu energia (costurile anuale pentru energie, inclusiv taxele naționale);
- costurile operaționale (costuri anuale de asigurare, costuri pentru utilități, altele decât costurile pentru energie, impozite și alte taxe.)
- costurile de întreținere (costuri anuale pentru inspecție, curățenie, reparații, consumabile);

- costurile de înlocuire (costul de investiție pentru un element al clădirii în funcție de ciclul de viață estimat în cursul perioadei de calcul).
- costurile de eliminare (costurile de demolare la sfârșitul duratei de viață a unei clădiri sau a unui element al acesteia, costurile de transport și reciclare)
- costurile emisiilor de gaze cu efect de seră pentru calculul la nivel macroeconomic.

Calculul nivelurilor optime din punct de vedere al costurilor se realizează:

- din perspectivă macroeconomică (se exclud toate taxele aplicabile, precum TVA, și toate subvențiile și stimulentele aplicabile, dar incluzând costurile aferente carbonului:

- 20 EUR pe tonă de CO₂ echivalent până în 2025;
- 35 EUR pe tonă de CO₂ echivalent până în 2030;
- 50 EUR pe tonă de CO₂ echivalent după 2030;

- din perspectivă microeconomică (se ține cont de prețurile plătite de consumatorul final, inclusiv taxele, subvențiile, dar excluzând costurile suplimentare de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră).

Trebuie avute în vedere evoluția prețurilor energiei și rata de actualizare, iar calculele trebuie fundamentate prin o analiză de sensibilitate pentru a evalua soliditatea parametrilor de intrare [4].

Măsurilor de eficiență energetică se aplică elementelor de construcție ale clădirii, respectiv sistemelor tehnice ale clădirilor de referință. Pentru a obține rezultate fiabile calculele trebuie efectuate utilizând o metodă dinamică. Perioada de calcul este determinată de ciclul de renovare a unei clădiri și nu este uzual mai mică de 20 de ani.

Pentru identificarea intervalului optim al costurilor al clădirilor de referință se realizează grafice având în abscisă energia primară în kWh/(m²·an), iar în ordonată costul global în EURO/m². Se evidențiază curba specifică în funcție de rezultatele obținute pentru fiecare măsură de eficiență economică considerată și aplicată clădirii. Limita inferioară a acestei curbe reprezintă intervalul optim din punctul de vedere al costurilor (figura 1).

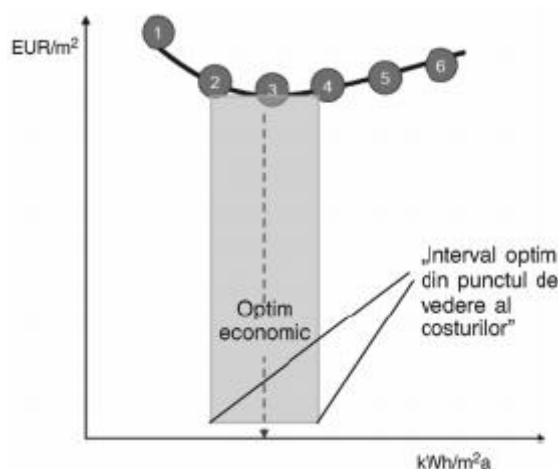


Fig. 1 Intervalul optim din punct de vedere al costurilor

Sursa: [5]

Diferența dintre nivelul actual și cel identificat al nivelului optim din punctul de vedere al costurilor se determină în conformitate cu Comunicarea C115/01/2012, [5], referitor la orientări privind Regulamentul delegat (UE) nr. 244/2012 al Comisiei:

Diferență % (nivelul clădirii de referință) = (nivelul optim din punctul de vedere al costurilor, exprimat în $[\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{an}]$ – cerințele minime actuale de performanță, exprimate în $[\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{an}]$) / (nivelul optim din punctul de vedere al costurilor, în $[\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}]$) $\times 100 \%$.

În conformitate cu Directiva 2010/31/UE, există o discrepanță semnificativă între rezultatul calculului privind nivelul optim al costurilor și cerințele minime în vigoare în prezent dacă acestea sunt cu 15 % mai mici decât nivelul optim al costurilor.

Datele necesare pentru caracterizarea clădirilor de referință pentru clădiri existente, cazuri în care se impun renovări majore și pentru clădiri noi sunt prezentate în anexa III, tabelele 1,2 [4]: De asemenea trebuie menționată metoda și instrumentele de calcul utilizate, respectiv datele de intrare privind determinarea performanței energetice care se referă la:

- geometria clădirii (raportul dintre suprafață și volum, S/V, orientarea elementelor de construcție, ponderea suprafeței vitrate din anvelopa clădirii și a ferestrelor fără expunere solară, suprafața în m^2 - aria suprafeței utile climatizate);
- condițiile climatice (locatie, zona climatică – care implică utilizarea în calcule a temperaturilor aerului exterior pentru anul climatic convențional, intensitatea radiației solare totale pe elemente orizontale și pe elemente verticale, în funcție de orientare);
- descrierea clădirii (materiale de construcție, etanșeitate la aer, vechime);
- utilizarea clădirii în funcție de destinație (aporturile interne ale ocupanților, puterea specifică a sistemului de iluminat, puterea electrică specifică a echipamentului electric);
- descrierea tehnologiei de bază a clădirii (sistemele tehnice ale clădirii, suprafețe, programe de funcționare și control al sistemelor tehnice, valorile U ale elementelor de construcție, valoarea g a transmitanței termice în cazul ferestrelor, elementele de umbrire, sistemele pasive ale clădirii);
- generarea de energie la fața locului;
- performanța energetică medie în $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{an})$ (consumul de energie primară la nivel de clădire).
- utilizarea energiei din surse regenerabile de energie.

Metodologia se adresează autorităților naționale și nu investitorilor. În realitate vor exista o multitudine de niveluri optime din punctul de vedere al costurilor pentru diverși investitori, în funcție de clădirile individuale, precum și de perspectiva proprie a investitorului și de așteptările acestuia cu privire la ceea ce constituie condiții acceptabile de investiție [5].

3. Procedura de determinare a claselor energetice (EPB rating procedures)

3.1. Procedura de determinare a scalelor energetice

Se utilizează două metode de determinare a scalelor energetice: metod 1 care utilizează două puncte de referință, referința de reglementare a performanței energetice, R_r , și referința pentru fondul construit de clădiri, R_s , considerând următoarele:

- referința corespunzătoare cerințelor minime de performanță energetică, R_r , delimitează clasele B și C
- referința stocului de clădiri existent, R_s , delimitează clasele D și E și metoda 2 cu un singur punct de referință cu o scală neliniară, considerând referința corespunzătoare cerințelor minime de performanță energetică pentru clădiri noi, R_r , limita între clasele D și E.

Algoritmii de calcul corespunzători celor două metode sunt prezentați în tabelul 1 [11].

Categoriile de clădiri cu relevanță deosebită din punct de vedere al balanței energetice naționale, sunt următoarele:

- clădiri de locuințe de tip condominiu (blocuri de locuințe);
- clădiri de locuit unifamiliale;
- clădiri de birouri/administrative;
- clădiri din sistemul de educație și învățământ;
- clădiri din sistemul de sănătate.

Tabelul 1

Reguli de determinare a scalei de performanță energetică

Clasa energetică	Metoda 1 Metoda cu două puncte de referință	Metoda 2 Metoda cu un punct de referință
A+	Clasă suplimentară	Clasă suplimentară
A	$EP < 0,5 R_r$	$0 \text{ Ref} < EP \leq 0,35 \text{ Ref}$
B	$0,5 \cdot R_r \leq EP < R_r$	$0,35 \text{ Ref} < EP \leq 0,50 \text{ Ref}$
C	$R_r \leq EP < 0,5 \cdot (R_r + R_s)$	$0,50 \text{ Ref} < EP \leq 0,71 \text{ Ref}$
D	$0,5 \cdot (R_r + R_s) \leq EP < R_s$	$0,71 \text{ Ref} < EP \leq 1,00 \text{ Ref}$
E	$R_s \leq EP < 1,25 \cdot R_s$	$1,00 \text{ Ref} < EP \leq 1,41 \text{ Ref}$
F	$1,25 \cdot R_s \leq EP < 1,5 \cdot R_s$	$1,41 \text{ Ref} < EP \leq 2,00 \text{ Ref}$
G	$1,5 \cdot R_s \leq EP$	$2,00 \text{ Ref} < EP$

La nivel național, clădirile de referință pentru tipurile de clădiri noi, respectiv pentru tipurile de clădiri existente, la care sunt necesare renovări majore, sunt definite în lucrarea [5].

3.2. Determinarea scalelor energetice – exemplu: bloc de locuințe, zona climatică II

Prin simulări dinamice ale funcționării clădirilor de diferite tipuri de categorii, se obțin consumurile de energie pentru fiecare sistem tehnic al clădirii, având astfel datele necesare pentru determinarea scalelor energetice pentru fiecare utilitate a clădirii, dar și scala energetică pentru consumul total.

În continuare se prezintă sintetic aplicarea procedurii prezentate anterior pentru determinarea scalei energetice totale și a scalei energetice pentru încălzirea clădirii pentru blocuri de locuințe. În tabelul 2 sunt redate performanța energetică medie definită prin energia primară totală pentru clădirea de referință și aria utilă considerată. Zona climatică considerată este zona a II-a.

Tabelul 2

Clădire de referință pentru blocuri de locuințe (Sursa: [6])

Categoria clădirii	Aria utilă desfașurată, în m ²	Performanța energetică: energie primară totală kWh/(m ² ·an)
Clădire nouă	1857,60	132,69
Clădire existentă		271,07

Aplicând procedura prezentată anterior, rezultă scalele pentru performanța energetică exprimată prin consumuri de energie primară totală în kWh/(m²·an) corespunzătoare celor două metode, prezentate în tabele 3 și 4:

Tabelul 3

Clase energetice pentru blocuri de locuințe – energie primară totală, în kWh/(m²·an)

Metoda cu două puncte de referință							
Clase energetice							
A+	A	B	C	D	E	F	G
< 34	34 - 67	67 - 133	133 - 202	202 - 27	272 - 340	340 - 406	> 406
Metoda cu un punct de referință							
Clase energetice							
A+	A	B	C	D	E	F	G
< 23	23 - 47	47 - 67	67 - 95	95 - 133	133 - 190	190 - 265	> 265

Tabelul 4

Clase energetice pentru blocuri de locuințe – energie primară pentru încălzire, în kWh/(m²·an)

Metoda cu două puncte de referință							
Clase energetice							
A+	A	B	C	D	E	F	G
< 16	16 - 32	32 - 63	63 - 114	114 - 162	162 - 202	202 - 243	> 243
Metoda cu un punct de referință							
Clase energetice							
A+	A	B	C	D	E	F	G
< 11	11 - 22	22 - 32	32 - 45	45 - 63	63 - 90	90 - 125	> 125

Analizând rezultate, concluziile indică o aplicabilitate mai favorabilă a metodei 1, care cuprinde mai multe tipuri de clădiri în clasele inferioare și are ca țintă clădirile existente, spre deosebire de metoda 2 care se aplică mai bine pentru clădiri noi, iar o pondere însemnată a clădirilor vechi sunt clasificate în clasa G.

Aplicarea scalei energetice pentru clădiri amplasate în zone climatice diferite de zona II, trebuie să se realizeze prin considerarea unei corecții corespunzătoare zonei respective.

4. Certificatul de performanță energetică

Se propune un model de certificat de performanță energetică în care să fie înscrise toate datele de identificare ale clădirii și ale auditorului energetic pentru clădiri, respectiv performanța energetică exprimată prin consumul de energie primară totală al clădirii și prin consumul de energie din surse regenerabile.

Certificatul de performanță energetică propus conține următoarele informații privind construcția și sistemele de instalații aferente acestora:

1). Titlatura: “Certificat de performanță energetică” și sistemul de certificare utilizat (reglementarea tehnică aplicabilă – *Metodologia de calcul al performanței energetice a clădirilor elaborată în aplicarea legii 372/2005*).

2). Numărul de înregistrare al certificatului de performanță energetică.

3). Date de identificare a auditorului energetic pentru clădiri:

4). Date privind obiectul evaluat energetic:

- Adresa: stradă, număr, oraș și județ/sector, cod poștal;

Pentru fiecare obiect evaluat, sunt definiți anumiți indicatori.

Denumirea și semnificația acestora sunt prezentați în tabelul 5.

Tabelul 5

Indicatorii obiectului evaluat

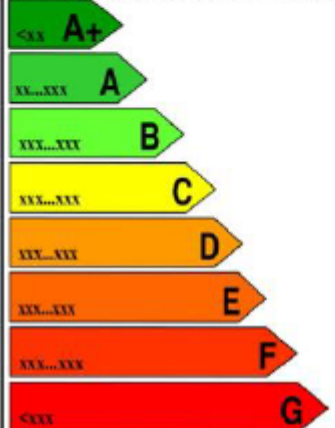
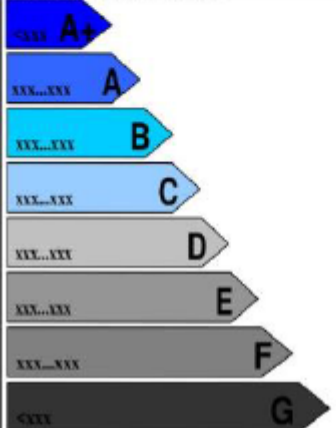
Descriere
Cazul supus evaluării
Tipul obiectului
Categoria clădirii
Categoria spațiului
Tipul aplicației
Tipul evaluării
Tipul combinației de sisteme tehnice

5). Categoria clădirii;

Tipurile de categorii ale clădirilor sunt prezentate în tabelul 6.

Certificat de performanță energetică

În conformitate cu: Metodologia de calcul al Performanței Energetice a Clădirilor, Mc001/2018

Cod poștal localitate: xxxxxx; Nr. înregistrare la Consiliul Local: xxxxxx; Data înregistrării: zz.ll.aaaa								
Date privind identificarea auditorului energetic								
CPE nr. nnnn/zz.ll.aaa	Valabil până la: dd/ll/aaaa	Auditor energetic: xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx	Gradul: xxx	Specialitatea: xxx				
Date privind obiectul evaluat								
Adresa clădirii și coordonate:		Categoriza clădirii:						
Regimul de înălțime:		Categoriza de spațiu:						
Anul construirii clădirii:		Tipul de evaluare PEC:						
Tipul obiectului evaluat:		Aria utilă încălzită: m ² Volumul încălzit: m ³						
Tipul aplicației:								
Programul de calcul utilizat: _____, versiunea: _____								
PERFORMANȚA ENERGETICĂ		CALCULATĂ	MĂSURATĂ	NIVEL EMISII CO₂				
Consum energetic scăzut / Eficiență energetică ridicată				Nivel de poluare scăzut				
								
		210	xxx	155				
Consum energetic ridicat / Eficiență energetică scăzută				Nivel de poluare ridicat				
Consum anual specific de energie primară totală [kWh/m ² an]		210	xxx	Indice de emisii echivalent CO ₂ [kgco ₂ /m ² an]				
				125 155				
Consum anual specific de energie primară din surse regenerabile [kWh/m ² an]		Panouri solare	Pompe căldură	Fotovoltaice	Biomasă	xxxxx		
		-	-	-	-	-		
Consum anual specific de energie [kWh/m ² an]:	Clasă energetică pentru apartament							
	A+	A	B	C	D	E	F	G
Încălzire	0...xx	xx...xx	xx...xx	xx...xx	xx...xx	xx...xx	xx...xx	>xx
				185				
Răcire (inclusiv dehumidificare)	0...xx	xx...xx	xx...xx	xx...xx	xx...xx	xx...xx	xx...xx	>xx
					105			
Ventilare mecanică	0...xx	xx...xx	xx...xx	xx...xx	xx...xx	xx...xx	xx...xx	>xx
Apă caldă de consum	0...xx	xx...xx	xx...xx	xx...xx	xx...xx	xx...xx	xx...xx	>xx
			20					
Iluminat artificial	0...xx	xx...xx	xx...xx	xx...xx	xx...xx	xx...xx	xx...xx	>xx
		18						

Semnătura și ștampila auditorului:

Număr CPE: din zz/ll/aaaa

Tabelul 6

Categorii ale clădirilor

Descriere	Incluse în evaluarea PEC da/nu
Clădire unifamilială	Da
Blocuri de locuințe	Da
Case pentru persoane vârstnice și cu dizabilități	Da
Clădiri rezidențiale pentru uz colectiv	Da
Clădiri mobile	Da
Clădiri de vacanță	Da
Birouri	Da
Clădiri educaționale	Da
Spitale	Da
Hoteluri și restaurante	Da
Clădiri pentru sport	Da
Clădiri pentru servicii de comerț cu amănuntul și cu ridicata	Da
Centre de date	Da
Site-uri industriale	Nu
Ateliere de lucru	Nu
Clădiri nerezidențiale agricole	Nu

6). Tipul obiectului evaluat;

Tipuri de obiecte evaluate din punctul de vedere al performanței energetice sunt redate în tabelul 7.

Tabelul 7

Tipuri de obiecte evaluate

Descriere
Întreaga clădire
Unitate de clădire
Parte a clădirii
Clădire nouă (proiect)
Clădire existentă "as built" (fără o perioadă lungă de utilizare)
Clădire existentă după renovare (fără o perioadă lungă de utilizare)
Clădire existentă extinsă (fără o perioadă lungă de utilizare)
Clădire existentă în utilizare
Clădire rezidențială
Clădire nerezidențială
Clădire publică de mari dimensiuni
Altele

7). Tipul aplicației

Cazurile de elaborare a certificatului energetic al clădirii sunt prezentate în tabelul 8.

Tabelul 8

Tipul aplicației

Descriere
Verificarea cerințelor de performanță energetică
Certificarea performanței energetice
Obținerea autorizației de construcție
Întabularea clădirii
Audit energetic
Inspecția performanței energetice

8). Tipul evaluării performanței energetice

În tabelul 9 se prezintă tipurile evaluării performanței energetice a clădirilor (PEC), subtitlurile, datele de intrare și tipul corespunzător al aplicației.

Tabelul 9

Tipuri de evaluare PEC

Tipul I: Calculată (evaluată)				
Subtip	Date de intrare			Tipul aplicației
	Utilizare	Climat	Clădire	
Proiect	Standard	Standard	Proiect	Autorizație de construcție
”As built”	Standard	Standard	Existent	Certificat de performanță energetică, reglaj
Existent	Existent	Existent	Existent	
Adaptat	Depinde de scop			Optimizare, validare, reabilitare/modernizare, audit energetic
Tipul II: Măsurată (operațional)				
Existent ^a	Existent	Existent	Existent	Monitorizare
Climat corectat	Existent	Corectat la valori standard	Existent	Monitorizare sau audit Energetic
Utilizare corectată	Corectat la valori standard	Existent	Existent	Monitorizare
Standard	Corectat la valori standard	Corectat la valori standard	Existent	Certificat de performanță energetică, reglementare, reglaj

Identificarea tipului de evaluare PEC se realizează în conformitate cu tabelul 10.

Tipurile evaluării PEC

Descriere
pe bază de calcul cu date de proiectare
pe bază de calcul cu date „as built”
pe bază de calcul cu date reale
pe bază de calcul cu date adaptate
pe bază de măsurători reale
pe bază de măsurători, corectate în funcție de zona climatică
pe bază de măsurători, corectate în funcție de utilizare
pe bază de măsurători, standard (corectate în funcție de zona climatică și utilizare)
Exemple de măsurători: - măsurarea ratei de ventilare pentru infiltrații ale anvelopei; - măsurarea etanșeității la aer a canalelor de aer; - măsurarea eficienței cazanului; - măsurarea consumului global de energie etc.

Bibliografie

- [1] Directiva 2010/31 UE privind performanța energetică a clădirilor;
- [2] Directiva 2012/27 UE A Parlamentului European privind eficiența energetică, de modificare a Directivelor 2009/125/CE și 2010/30/UE;
- [3] Planul Național de Acțiune în Domeniul Eficienței Energetice, 2014, publicat în MO nr. 169/2015.
- [4] Regulamentul delegat UE nr. 244/2012 al Comisiei de completare a Directivei 2010/31/UE a Parlamentului European;
- [5] JO al UE 2012/C115/01 - Orientări privind Regulamentul delegat (UE) nr. 244/2012 al Comisiei din 16 ianuarie 2012 de completare a Directivei 2010/31/UE a Parlamentului European și a Consiliului privind performanța energetică a clădirilor prin stabilirea unui cadru metodologic comparativ de calcul al nivelurilor optime, din punctul de vedere al costurilor, ale cerințelor minime de performanță energetică a clădirilor și a elementelor acestora;
- [6] Cercetare referitoare la cadrul metodologic de calcul al nivelurilor de cost optim al cerințelor minime de performanță energetică pentru clădiri și elemente de anvelopă ale acestora, Faza 2, raport final, publicat în 26.03.2014.
- [7] Plan pentru creștere a numărului de clădiri cu consum de energie aproape egal cu zero, publicat în 05.09.2014.
- [8] Ordinul nr. 2641/2017 privind modificarea și completarea reglementării tehnice "Metodologie de calcul al performanței energetice a clădirilor", aprobată prin Ordinul ministrului transporturilor, construcțiilor și turismului nr. 157/2007.
- [9] Mc001- Metodologie de determinare a performanței energetice a clădirilor și a instalațiilor aferente;
- [10] ISO 52003-1 – Energy performance of buildings – Indicators, requirements, ratings and certificates. Part 1: General aspects and application to the overall energy performance.
- [11] ISO/TR 52003-2 – Energy performance of buildings – Indicators, requirements and certification. Part 2: Explanations and justifications for ISO 52003-1.

Evoluția normelor specifice de consum a gazelor naturale pentru necesitățile casnice în condițiile Republicii Moldova în ultimii 50 de ani

The development of specific rate of gas consumption for household requirements in the conditions of the Republic of Moldova in the last 50 years

Mariana Haiducova ¹, Constantin Țuleanu ²

Universitatea Tehnică a Moldovei
or. Chișinău, bd. Ștefan cel Mare, 168

¹E-mail: mariana.haiducova@yahoo.com

²E-mail: ctuleanu@mail.ru

Rezumat: *Lucrarea de față are la bază analiza evoluției normelor specifice de consum a gazelor naturale în ultimii 50 de ani din sectorul casnic ca rezultat al schimbării modului de viață, folosirii tehnicii performante de ardere a gazelor naturale etc.*

Cuvinte cheie: *Evoluție, norme de consum de căldură, energie, gaze naturale.*

Abstract: *The paper is based on the analysis of the evolution of the specific natural gas consumption norms in the last 50 years of the domestic sector as a result of changing the way of life, the use of the natural gas burning technique.*

Key words: *Evolution, consumption of heat, energy, natural gas.*

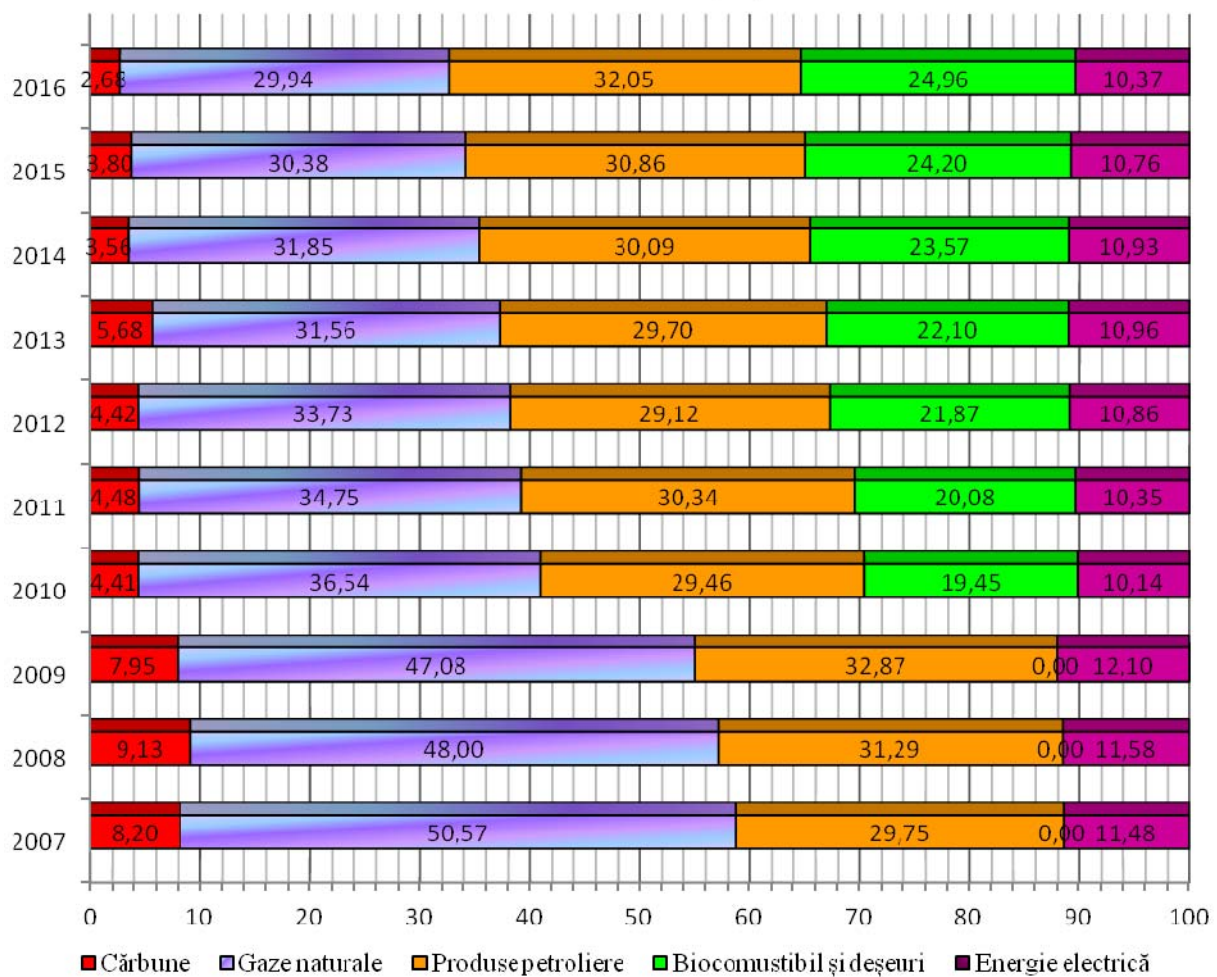
1. Introducere

O economie modernă depinde extrem de mult de performanța și securitatea sectorului energetic. Pentru Republica Moldova, țară dependentă aproape în totalitate de piața externă a purtătorilor de energie, sectorul energetic joacă un rol decisiv în dezvoltarea durabilă a societății și restructurarea economiei naționale. În acest context un impact major asupra creșterii economice și reducerea sărăciei îl au sectoarele energiilor de rețea la general și cel al gazelor naturale în particular. Dacă să analizăm structura (fig.1) și evoluția (tabelul 1) consumului de energie primară pe țară din perioada 2007÷2016 putem constata că, acest consum se caracterizează prioritar prin perioade de creștere cu un ritm mediu anual de 0,32% până la 21,19%. Excepție face anul 2009 când consumul grație crizei economice s-a redus cu circa 6,12%.

Tabela 1.

Dinamica balanței energetice a consumului intern brut (2007-2016*), mii tone echivalent petrol

Anul	Cărbune	Gaze naturale	Produse petroliere	Biocomustibil și deșeuri	Energie electrică	TOTAL
2007	180	1110	653	-	252	2195
2008	201	1057	689	-	255	2202
2009	165	977	682	-	251	2075
2010	116	962	776	512	267	2633
2011	120	930	812	537	277	2676
2012	116	885	764	574	285	2624
2013	150	834	785	584	290	2643
2014	95	850	803	629	292	2669
2015	102	816	829	650	289	2686
2016	75	837	896	698	290	2796

(Sursa: Biroul Național de Statistică, <http://statbank.statistica.md>)**Structura consumului intern de energie primară în anii 2007-2016, %****Figura 1.** Structura consumului intern de energie primară în anii 2007-2016*, în %*(prelucrat de autori în baza informației *Balanța Energetică a Republicii Moldova, 2016*)

Putem constata că din toate formele de energie primară (cărbune, gaze naturale, produse petroliere, biocombustibil și deșeuri, energie electrică) care participă actualmente în cea mai mare măsură la satisfacerea necesităților de energie în Republica Moldova, gazelor naturale le revine cea mai mare pondere $33,73 \div 50,57\%$, urmată de produsele petroliere (circa $29,12 \div 32,87\%$). Important de remarcată că din 2010 în structura consumului de biocombustibili se înregistrează o pondere de $19,45 \div 24,96\%$.

Programele energetice promovate la nivel național în mod prioritar prevăd, în scopul asigurării securității energetice a statului, eficientizarea și extinderea sistemului de aprovizionare cu gaze naturale a Republicii Moldova. În acest context este evident că extinderea va conduce la schimbări serioase în structura consumului de gaze, care în mod obligatoriu trebuie să fie maxim eficientizat. Eficientizarea consumului de gaze, prevede utilizarea rațională a gazelor naturale, minimizarea consumurilor tehnologice, deminuirea pierderilor tehnice și celor comerciale. Soluționarea adecvată a componentelor respective poate fi realizată numai prin elaborarea algoritmilor generale de dirijare a sistemului de aprovizionare cu gaze. Pentru aceasta este necesară studierea experimentală și statistică a acestor sisteme, în primul rând, a evoluției consumului de gaze. Aceasta va permite stabilirea coraportului dintre cerință și consum pentru diferite zone geografice, funcție de variațiile factorilor climatologici, sociali, demografici, precum și de modul de viață al populației. Studierea statistică a fondului de date cu privire la evoluția consumului de gaze din diferite sfere de activitate umană, acumulat de întreprinderile de distribuție a gazelor pe parcursul contorizării în masă a consumatorilor ar permite de a scoate în evidență un șir de probleme de o importanță extrem de valoroasă pentru interesele energetice ale țării.

Variația consumului de energie în diverse sfere a activității umane conduce evident, la importante mutații și în structura consumului de gaze naturale. Simplele extrapolări a ritmurilor actuale de modificare a necesităților populației în bunuri materiale, produse alimentare, energie electrică și termică și altele, scot în evidență problemele complexe și dificile cu care se va confrunta societatea din Republica Moldova în viitor. În acest context problemele determinării, monitorizării și dirijării regimului consumului de gaze naturale, precum și estimarea posibilităților de acoperire a neuniformității acestuia constituie o problemă care frământă în permanență specialiștii din domeniu. Actualmente în Republica Moldova proiectele sistemelor de distribuție și de transport a gazelor, elaborate pentru localități sau obiecte de consum din sectorul casnic, comunal - menajer sau industrial se efectuează cu utilizarea unor norme specifice de consum exprimate în unități calorice determinate pe categorii de folosință, deduse în baza datelor reale a consumurilor de gaze naturale, măsură ce asigură funcționalitatea fiabilă a rețelelor respective pe toată durata lor de exploatare.

Tradițional, pentru Republica Moldova se aplică normele specifice de consum de căldură, elaborate pentru zona centrală a Federației Ruse cu condiții climaterice, sociale și demografice diferite.

Condițiile climaterice ale Republicii Moldova diferă însă de cele pentru care au fost elaborate normele utilizate curent, costul purtătorilor de energie importați,

veniturile modeste ale populației, solvabilitatea scăzută a consumatorului impun un mod de viață specific, care condiționează consumul de gaze în țară.

Specificul consumului de gaze naturale poate fi caracterizat de următorii factori de influență:

- temperatura de calcul a zonei centrale a Federației Ruse constituie minus 25°C, iar a Republicii Moldova - minus 16°C, temperatura celei mai reci perioade alcătuiește corespunzător minus 14°C și minus 7°C, durata sezonului de încălzire - respectiv 205 zile și 166 zile, [1];
- o bună parte de consumatori din zona rurală utilizează gaze naturale doar pentru prepararea hranei și a apei calde, iar pentru încălzirea locuințelor folosesc lemne, cărbuni sau deșeuri din sectorul agricol;
- în ultimii 10 ani funcțiile mașinii de gătit se substituie parțial într-o bucătărie modernă prin dotarea ei cu o mulțime de aparate de curent electric așa ca cuptoarele cu microunde, role electrice etc.;
- din datele publicate de Biroului Național de Statistică a Republicii Moldova se observă o tendință de creștere a numărului de persoane, care utilizează serviciile de alimentare publică, restaurante, cafenele, cantine, etc.

2. Caracteristica normelor de consum de căldură pentru sectorul casnic

În scopul evaluării evoluției normelor de consum de căldură pentru necesitățile casnice a fost efectuată retrospectiva bibliografică în acest domeniu pentru ultimii 50 ani, rezultatele căreia sunt prezentate în tabelul 2.

Tabelul 2

Valorile normelor anuale ale consumului specific de căldură

Consumatorii de gaz	Indicile consumului de gaze	Norma consumului de căldură (MJ)				
		SNiP II-Г. 13-66	SNiP II-37- 76	SNiP 2.04.08-87*	CP.G 05.01-2008	CP.G 05.01-2014
1	2	3	4	5	6	7
1. În cazul prezenței în apartament a aragazului și alimentării centralizate cu apă caldă menajeră la alimentarea cu gaz natural:	Pentru 1 om pe an	2680	2680	2800	4100	2800
2. În cazul prezenței în apartament a aragazului și a aparatelor pentru prepararea locală a apei calde menajere (încălzitorului cu gaz), în cazul lipsei alimentării centralizate cu apă caldă menajeră la aliment. cu GN:	Pentru 1 om pe an	-	5317	8000	10000	8000

Evoluția normelor specifice de consum a gazelor naturale pentru necesitățile casnice în condițiile Republicii Moldova în ultimii 50 de ani

1	2	3	4	5	6	7
3. În cazul prezenței în apartament a aragazului și lipsei alimentării centralizate cu apă caldă și încălzitorului cu gaz la alimentarea cu gaz natural:	Pentru 1 om pe an	3391	3391	4600	6000	4600
4. Încălzirea apei în apartamente pentru necesități sanitaro-igienice.	Pentru 1 om pe an	1926	-	-	-	-
5. Spălarea rufelor în condiții casnice	Pentru 1 tonă de rufe uscate	8792	8792	-	-	-

Notă: normele de consum pentru categoria de folosință: „spălarea rufelor în condiții casnice” și pentru „încălzirea apei menajere în apartamente pentru necesități sanitaro-igienice” au fost cumulate mai târziu cu normele prezentate în SNiP 2.04.08-87*.

Variația normelor specifice anuale de consum de căldură în scopuri casnice pentru categoria de folosință – pentru pregătirea hranei și diferite moduri de alimentare cu apă caldă menajeră (centralizată, pregătită pe aragaz, cu ajutorul încălzitorului instantaneu sau volumetric), stabilite de documentele normative în construcții [2], [3], [4], [5] și [6] este prezentată în fig. 2.

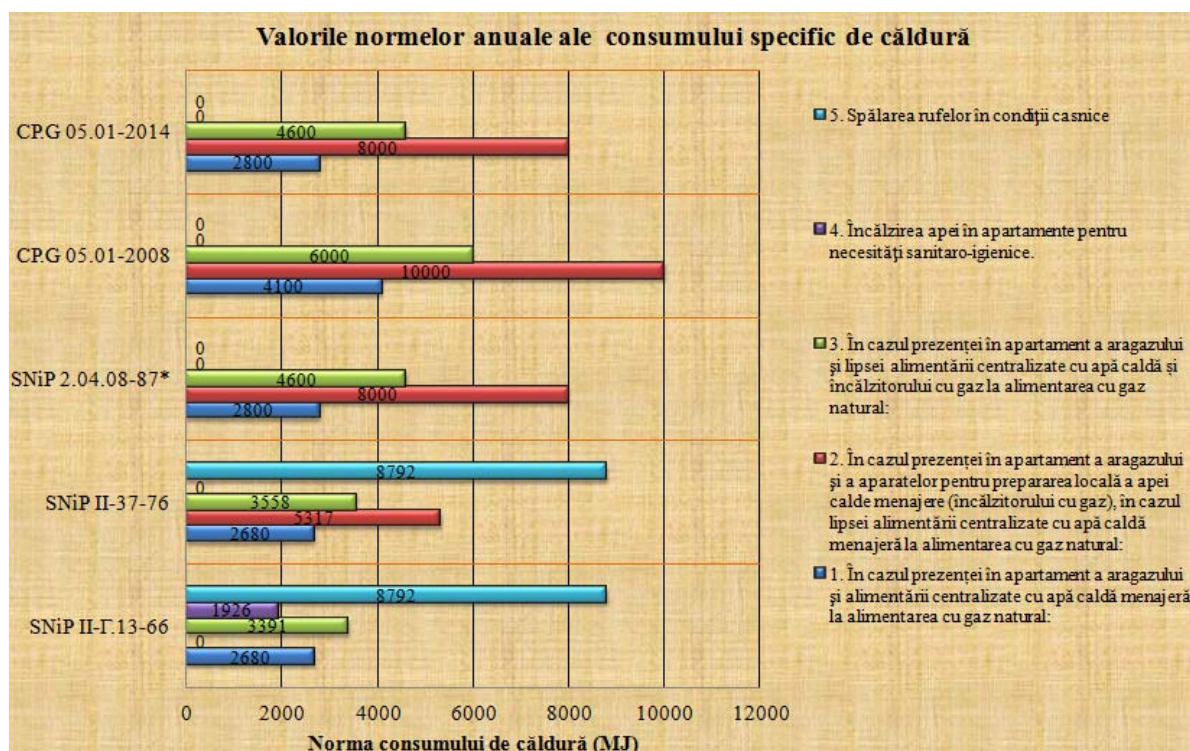


Figura 2. Graficul variației normelor anuale specifice de consum de căldură pe categorii de folosință în sectorul casnic

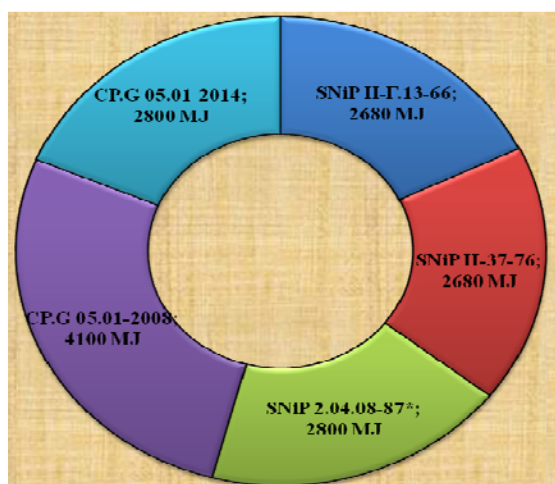


Figura 3. Variația normelor anuale specifice de consum de căldură pentru diferite categorii de folosință în sectorul casnic

regimurilor de presiune în rețelele de distribuție în orele cu consum de vârf pe timp de iarnă cu temperaturi ale mediului ambiant identice celor de calcul sau sub valoarea lor.

Normele anuale specifice de consum de căldură pentru categoria de folosință, (v.fig.4): „în cazul prezenței în apartament a aragazului și a aparatelor pentru prepararea locală a apei calde menajere (încălzitorului instantaneu cu gaz), în cazul lipsei alimentării centralizate cu apă caldă menajeră” în anul 1987, [4] a înregistrat o creștere de circa 50%, iar în 2008, [5] – cu 25% în raport cu normele precedente. Specificul acestui ansamblu de aparate utilizatoare de gaze este că, necesarul de căldură pentru prepararea apei calde în scopuri casnice, inclusiv sanitar-igienice, este preluat de încălzitorul instantaneu cu gaze, [7].

Majorarea normelor anuale specifice de consum de căldură în condițiile sporirii respective a randamentului încălzitoarelor instantanee pentru pregătirea apei calde menajere cu circa 15% și a arzătoarelor mașinilor de gătit în limitele indicate anterior poate fi justificată de impunerea de către consumatori a unor cerințe majore în vederea confortului vieții.

Actualmente încălzitoarele instantanee se instalează mai rar, deoarece în ordine prioritară se folosesc centralele termice murale individuale cu două conture, care comasează funcțiile de pregătire a apei calde menajere și încălzire a locuinței, oferind consumatorului:

- ✓ independență față de întreprinderea municipală, care livrează agent termic;

Normele anuale specifice de consum de căldură pentru categoria de folosință, (v.fig.3): „în cazul prezenței în apartament a aragazului (prepararea hranei) și alimentării centralizate cu apă caldă menajeră” din anul 1987, [4] au înregistrat o creștere cu circa 4,5% în raport cu cele din 1966, [2] iar în 2008, [5] – respectiv cu 46,5% în raport cu normele din 1987, [4].

Creșterea valorilor normelor examinate poate fi justificată doar de majorarea puterii arzătoarelor mașinilor de gătit, deoarece incorectitudinea normelor, care au fost folosite în perioada menționată de 42 ani, nu a fost stabilită prin picarea

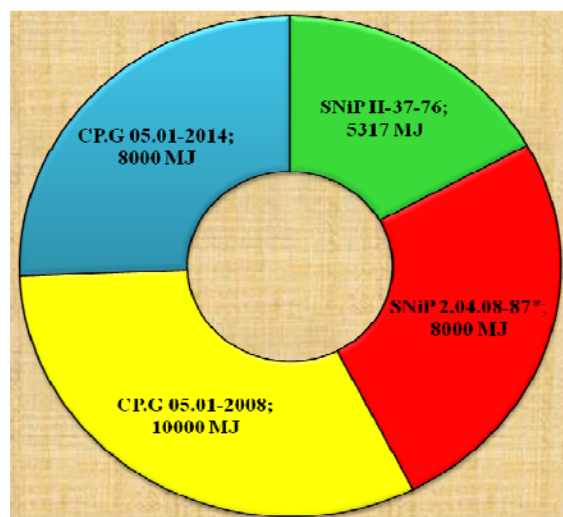


Figura 4. Variația normelor anuale specifice de consum de căldură pentru diferite categorii de folosință în sectorul casnic

Evoluția normelor specifice de consum a gazelor naturale pentru necesitățile casnice în condițiile Republicii Moldova în ultimii 50 de ani

- ✓ opțiunea de a regla temperatura aerului interior;
- ✓ posibilitatea gestionării cheltuielilor lunare pentru consumul de gaze naturale;
- ✓ cât și principiul de funcționare simplificat și fiabilitatea înaltă a cazanelor murale.



Conform datelor statistice înregistrate de întreprinderile de distribuție, numărul consumatorilor care aleg să instaleze încălzitoarele de apă caldă pentru prepararea apei calde menajere este în scădere, datorită concurenței pe piață de centrale termice murale universale. De rând cu zona urbană, în localitățile rurale se observă o tendință similară de înlocuire a cazanelor clasice dotate cu arzătoare de tip „APOC” cu centrale



termice individuale murale cu tiraj forțat.

După cum știm, în [5] nu se indică o astfel de normă de consum pentru aceste tipuri de aparate, însă stabilirea ei rămâne actuală, deoarece tendința de a instala centrale termice murale în apartamentele noi, cât și în cele vechi este în creștere.

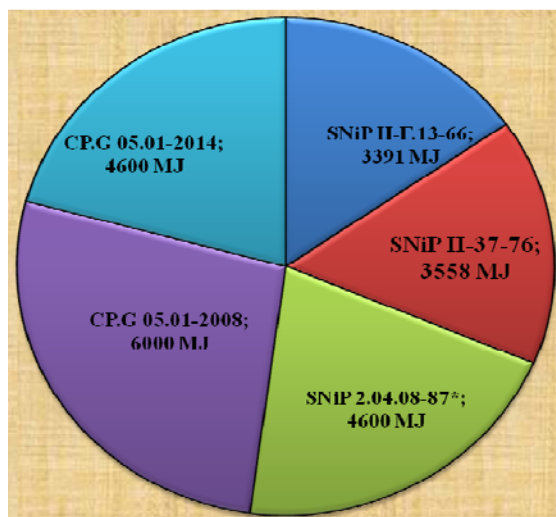


Figura 5. Variația normelor anuale specifice de consum de căldură pentru diferite categorii de folosință în sectorul casnic

aragazului și lipsei alimentării centralizate cu apă caldă și încălzitorului cu gaz” s-a majorat consecutiv cu 4,6% în 1976, [3], 29% în 1987, [4], și 31% în 2008, [5], motivul fiind creșterea nivelului de viață a populației.

În perioada ultimilor 50 de ani, perioada care s-a marcat prin dezvoltarea masivă a sistemului de alimentare cu gaze, gazificării localităților din republică, se observă o creștere substanțială a valorilor normelor de consum în medie cu 60%. Diferența dintre valorile consumului de căldură, indicate în SNiP II Г.13-66, SNiP II-37-76, SNiP 2.04.08-87* și CP G05.01-2008 se explică prin apariția metodelor noi de calcul, elaborate în instituțiile de cercetări științifice de la Moscova, Sankt-Petersburg și Saratov, actualizarea periodică a bazei de date statistice, care corespunde majorării nivelului de viață a populației și desigur, apariția noilor aparate și instalații utilizatoare de gaze naturale.

Normele de consum de căldură, care au intrat în vigoare în anul 2003 în Rusia, ca normativ de proiectare ЦП 42-101-2003,[8] a servit drept bază a normativului moldovenesc CP G05.01-2008, care s-a utilizat pînă în anul 2014.

Însă, începînd cu 01 noiembrie 2014 a fost pus în aplicație noul normativ în construcții: „*Sisteme de distribuție a gazelor*” NCM G.05.01-2014, [9] și Codul practic în construcții „*Dispoziții generale de proiectare și construcție a sistemelor de distribuție a gazelor din țevi de metal și polietilenă*” CP G.05.01-2014, [6]. Noile normative prevăd o diversitate și o multitudine de modificări efectuate în raport cu normativele [5] și [6], impuse de condițiile reale de funcționare a rețelelor de distribuție a gazelor combustibile din Republica Moldova.

Mai jos vor fi elucidate motivele care au condiționat la unele schimbări operate în documentul normativ [5] și înlocuind în [9], și anume a normelor anuale specifice de consum de căldură pentru sectorul casnic.

Potrivit [7], rezervele de gaze naturale în rețelele de distribuție constituie circa 4%. Deci, în caz de deconectări eventuale de la sursă rețeaua de gaze poate alimenta consumatorii o perioadă de timp foarte scurtă. Majorarea normelor de consum de căldură cu 20 - 50 la sută, fapt care este confirmat prin raportul dintre normele din [4] și [5], contribuie la supradimensionarea rețelelor de distribuție, sporirea rezervelor de gaze în conducte, dar și la majorarea respectivă a costurilor de construcție - montaj. Această măsură însă nu soluționează problema alimentării fiabile cu gaze a consumatorilor în lipsa sursei, deoarece legătura dintre sursă și consumator rămâne rigidă. Majorarea rezervelor de gaze în rețelele de distribuție este nesemnificativă și nu poate înlocui sursa. Mai eficient ar fi înelarea rețelelor de presiune înaltă pe perimetru localităților și multiplicarea surselor de alimentare cu gaze naturale a rețelelor de distribuție. Ineficiența rezervelor de gaze din conductele de distribuție pentru alimentarea consumatorilor pe timp de iarnă în termenul de intervenție a serviciului de depanare (40 minute), stabilit în [10], a fost demonstrată în cazul deconectărilor de la sursă a sistemelor de distribuție gaze naturale a or. Leova la 12.01.2011 și a or. Bălți la 30.01.2012 [11]. Funcționarea sistemului de distribuție gaze a or. Bălți în perioada deconectării de la sursă a devenit necontrolabilă, deoarece o parte din consumatori cu consum maxim sau deconectat prompt în urma căderii presiunii în amonte și/sau în aval de SRM, care a condiționat închiderea supapelor de blocare în funcție de particularitățile lor constructive. Altă parte de consumatori a beneficiat de reducerea consumului de gaze din sistem și au mai consumat gaze o perioadă oarecare de timp, dar în continuare s-au deconectat și ei de la rețea. În cazul or. Leova consumatorii s-au

deconectat de la rețea în scurt timp, rând pe rând în funcție de încărcarea rețelelor de presiune joasă. Personalul distribuitorului, aflându-se la sursă (SRM de frunte), nu a reușit să reacționeze în vederea evitării deconectării consumatorilor prin transferul SRM – ului la conducta de by-pass. Deci, crearea rezervelor de gaze în rețele prin majorarea normelor specifice de consum de căldură, din punct de vedere tehnologic și financiar, este o măsură inefficientă.

De menționat, că normele specifice de consum de căldură sunt funcție de:

- nivelul de viață a consumatorilor;
- performanța aparatelor de utilizare;
- regimul de temperaturi ale mediului ambiant și a apei din apeduct;
- rezistența îngrădirilor la pierderile de căldură în exterior în perioada rece a anului;
- precum și alți factori specifici.

Deci, nivelul normelor specifice de consum căldură pentru oricare zonă necesită a fi stabilită în baza unor investigații ample a factorilor climaterici, sociali și tehnici corespunzători.

În noul CP G.05.01-2014 sunt modificate normele anuale specifice de consum căldură din sectorul casnic care, în opinia specialiștilor, în [5] erau exagerat de mari pentru condițiile Republicii Moldova.

3. Concluzii

Ideile directoare abordate în lucrare, aduc în evidență importanța și relevanța soluționării problematicei normării consumului de gaze pentru sectorul rezidențial, care este cel mai vulnerabil la capitolul consum de energie și resurse energetice.

Soluționarea adecvată a acestor problematice în contextul schimbărilor climatice, economice, demografice, sociale și de mediu, precum și a provocărilor condiționate de crizele (energetice, economice, politice, de mediu etc.) care amenință în permanență societatea va avea cu certitudine un impact benefic social și economic nu numai pentru sectorul rezidențial, dar și a societății în întregime.

Referințe bibliografice

- [1]. СНиП 23-01-99* Строительные нормы и правила Российской Федерации „Строительная климатология”. Управлением технормирования Госстроя России.
- [2]. SNiP II-G.II-66. Gazosnabjenie, M. 1966.
- [3]. SNiP II-37-76. Gazosnabjenie, M. 1976.
- [4]. SNiP 2.04.08-87. Gazosnabjenie, M. 1987.
- [5]. CP G.05.01-2008. Cod practic în construcție „Sisteme de distribuție a gazelor”. Chișinău, 2008.
- [6]. CP G.05.01-2014. Cod practic în construcție „Dispoziții generale de proiectare și construcție a sistemelor de distribuție a gazelor din țevi de metal și polietilenă”. Chișinău, 2014.
- [7]. Ionin A.A. „Gazosnabjenie” – M.: Stroiizdat, 1981.
- [8]. СП-42-101-2003 Свод правил по проектированию и строительству

„Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб”. М.: ЗАО "Полимергаз", ГУП ЦПП, 2003.

- [9]. NCM G.05.01-2006. Normativ în construcție „Sisteme de distribuție a gazelor”. Chișinău, 2006.
- [10]. Reguli de securitate în ramura de gazificare. Reglementare tehnică. Chișinău, 2002.
- [11]. Revistă tehnică de specialitate „Tehnologiile mileniului III”, Anul I, nr.2, 2014, ISSN 2345-1327-5.

Energy system for tomorrow - role of exergy

Prof Dr. Peter NOVAK

Faculty for Technologies and Systems, Novo mesto, Slovenia

Abstract:

Exergy is a measure of energy quality. The amount of exergy in energy carriers is very different. Normally the price includes only the value of quantity and not the quality of energy. Exergy is the only part of energy available to do work. For different purposes we need energy with different amounts of exergy: for heating and cooling the energy mixture between small amount of the exergy and large part anergy is needed. Transition to sustainable energy system, without GHG emissions, based on RE, open the questions how to evaluate exergy from solar energy. Solar energy in all form (irradiation, water flows, wind, and biomass) consists of nearly 100% of exergy. Solar energy is free, conversion systems are not. To exploit at maximum the solar exergy we need a sustainable energy system using in great amount the present infrastructure and existing or new developed energy conversion technologies. There is common agreement that we need four main presently used energy carriers: electricity, gaseous, liquid and solid fuels. Our vision is the new Sustainable Energy System (SES) based on the use of solar and planetary energy for production of renewable electricity as a base for production of hydrogen. Hydrogen is a raw material for carbon recycling from biomass, making synthetic methane and methanol. The proposed SES is based on the existing infrastructure and known chemical processes. With regard to availability of renewable energy resources (RES) it is unrestricted and harmless in comparison to present fossil fuels use. The proposed SES consists of the three main exergy carriers: solar electricity, synthetic methane (CH₄) and synthetic methanol (CH₃OH).

Key words: energy, exergy, evaluation, sustainable exergy system

1. Introduction

In the last years European Union (EU) in conformity with Paris Agreement has adopted many regulations and decisions with regard to energy management [1] including the EU Council decision on 40% greenhouse gas emission (GHG) reduction and the share of 27% of renewable energy (RE) in final energy (FE) until 2030. The common goal of these regulations is to change the present energy system to a sustainable one. In EU winter package documents is one of the most important statements: “To reach our goal, we have to move away from an economy driven by fossil fuels, an economy where energy is based on a centralized, supply-side approach and which relies on old technologies and outdated business models.”[2]

There are different ways and timing to achieve the proposed goals. One possibility is to integrate all those activities into Circular Economy [3]. What should be a “sustainable development” in the case of energy supply, distribution and use?

How can we measure the sustainability of energy system? Can we have a sustainable energy system with the circulation of organic carbon, going away from the expression "a low carbon society" to a carbon recycling economy? We presented one of the possible solutions including tools for evaluation of their sustainability. Based on previous research results and proposals [4, 5, 6, 7, 8) we find, that one of the best criteria for measuring the sustainability of energy system is exergy approach.

Normally we are selling fuels, electricity, heat and cold. The amount of exergy in these energy carriers is very different. In their prices only the quantity and not the quality of energy is included.

This means the value or amount of exergy, as the measure of quality, in it is not always included in the price. But in real life we need energy with a different amount of exergy: for heating and cooling energy mixture between small amount of the exergy and large part anergy is needed. For work and lighting the 100% of exergy is needed.

The transition to sustainable energy system, without GHG emissions, based on RE, opens the questions how to evaluate exergy from solar energy. How important are the irreversibility's of our processes in solar energy conversion system? The answer is only possible if we know what type of processes will be used.

There is common agreement that we need in practice a sustainable energy system with four main energy carriers: electricity, gaseous, liquid and solid fuels to exploit at maximum the present infrastructure.

2. Exergy

The word "exergy" was introduced by Zoran Rant [9] and the present common definition is: "exergy of a system in a certain environment is the amount of mechanical work that can be maximally extracted from the system in this environment".

According Rant the energy W is a sum of exergy Ex and anergy A (~energy of environment):

$$W = Ex + A \quad (1)$$

Exergy is a measure of quality of energy. Energy is always conserved and can neither be produced nor consumed. Exergy can be very easily converted in anergy through irreversibilities in the conversion processes. Therefore the most used expression in daily life "consumption of energy" should be changed to "consumption of exergy" as the only thermodynamically correct expression.

Our attention will be given to the exergy of renewable sources of energy as the core of future energy system. In real energy conversion processes we always have a loss of exergy. This means that energy can be balanced but the exergy in a closed system cannot be. Exergy destruction or vanishing of exergy because of irreversibilities is a natural phenomenon which can be to some extent controlled by design of our energy conversion equipment.

1 Symbol Ex is used for exergy, to distinguish between symbol E many authors used for energy or exergy.

Exergy efficiency is therefore a quality measure of our processes. The quotient between output exergy Ex_{out} and input exergy Ex_{in} is the standard definition of exergy efficiency ExE :

$$\varepsilon = Ex_{out} / Ex_{in} \quad (2)$$

Using standard data for exergy content in different energy carriers and the embedded exergy in materials used in practice [10] we can calculate this efficiency. Besides the exergy efficiency it is important also to analyze the exergy destruction in processes during the time.

2.1 Exergy, sustainability and resource accounting

Resources cannot be evaluated only according to mass and energy balance, because they do not disappear. Using the exergy as the measure of resource depletion we can evaluate the quality of our processes taking into account the conservation of mass and energy.

Circular economy promoted in the last years is a policy to minimize the resource destruction, to minimize the thermodynamics irreversibilities with higher exergy efficiency. To push the circular economy on the top of society development we need a serious exergy analysis (ExA) of present technologies and economic patterns. The exergy destruction during a process is proportional to the entropy created due to irreversibilities associated with the process. Exergy analysis can clearly indicate the locations of energy degradation in a process that may lead to improved operation or technology. It can also quantify the heat quality in rejected streams. The main aim of exergy analysis is to identify the causes of irreversibilities and to calculate the true magnitudes of exergy losses.

Exergy analysis [8] is a methodology that uses the conservation of energy principle (embodied in the first law of thermodynamics) together with non-conservation of entropy principle (embodied in the second law) for the analysis, design and improvement of energy and other systems.

LCExA (Life Cycle Exergy Analysis) can be used as a method to quantify depletion of natural resources and to assess the efficiency of natural resource used. It can be used for energy system with fossil and renewable sources of energy, for different materials and in broader sense for exergy of societies. In our case LCExA will be used to analyze sustainability of proposed exergy system, based on organic carbon circulation in future circular economy.

2.2 Life Cycle Exergy Analysis of Renewable Energy

The use of exergy in life cycle assessments (LCExA or sometimes ExLCA) has been suggested by many different researchers since the late 1990s. Based on work of Davidsson using LCExA for wind energy system analysis [7], where the renewable resources are separated from non-renewable, we accept the same methodology.

Natural resources are classified as natural flows and stocks.

Stocks are then divided into funds (living stocks) and deposits (dead stocks). Natural flows and funds are renewable while deposits are non-renewable. All in- and outflows during the life cycle of production, use and disposal or recycling, are then considered as exergy power over time.

The direct solar exergy input (e.g. solar irradiation, water, wind, waves) of renewable sources (including geothermal and planetary exergy) can be disregarded since they represent a natural flow and are therefore renewable. If not used natural exergy flows will be wasted and lost as anergy – heat of environment. Non-sustainable use of exergy funds, like clearing of forests in a non-sustainable fashion and the use of exergy deposits are regarded as non-renewable resources. The simple presentation of LCExA is given in [7, 32] and is shown on the Figures 1, 2 and 3.

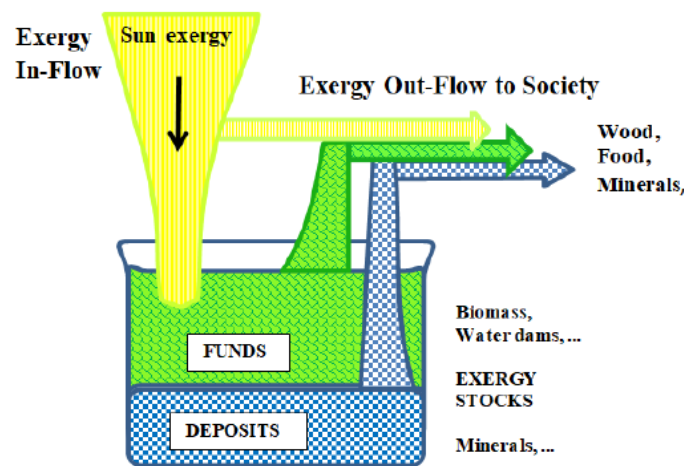


Figure 1: The exergy flow from the sun and the exergy stocks on the earth create the resource base for human societies on the earth. [7, 32]

The life cycle analysis of a system usually consists of three separate stages with different exergy flows that are analogous to the three steps in the life cycle of a product in:

- 1- Construction phase,
- 2 - Operational phase and
- 3 - Clean up phase.

During the construction phase, exergy is spent and none is created besides eventual byproducts. Some exergy is used for maintenance and at end of life we need the exergy for clean up (recycling) of the equipment or plant. The exergy used for construction combined with the exergy used for maintenance and clean up make up the total indirect exergy.

A fossil fuels power plant takes the exergy from the fuels used for construction, during the operational phase and clean up. The exergy of output electricity will always be lower than the exergy of the fuels used. A power plant using fossil fuels can therefore never be sustainable since it uses more exergy than it generates. The exergy flow over the lifetime of a fossil fuel power plant is illustrated in Figure 2 [7, 32].

Energy system for tomorrow - role of exergy

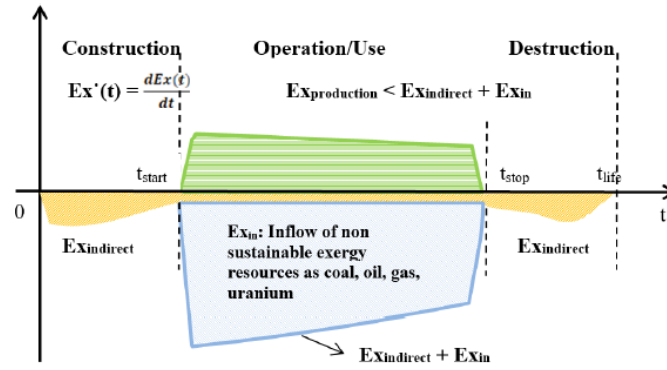


Figure 2. Exergy flow diagram for LCExA of a power plant using fossil fuels [7, 32]

The power plant using the renewable sources of energy for electricity production, on the other hand, converts the natural exergy flows to a useable form of exergy - electricity. As an example, a PV panel uses the solar exergy to convert it into electricity and same is done by the wind generators.

During the operational phase it will hopefully produce more exergy than the indirect exergy needed during the life cycle (for construction, maintenance and clean up). The exergy flow over the life cycle of such one power plant is illustrated in Figure 3 [7, 32].

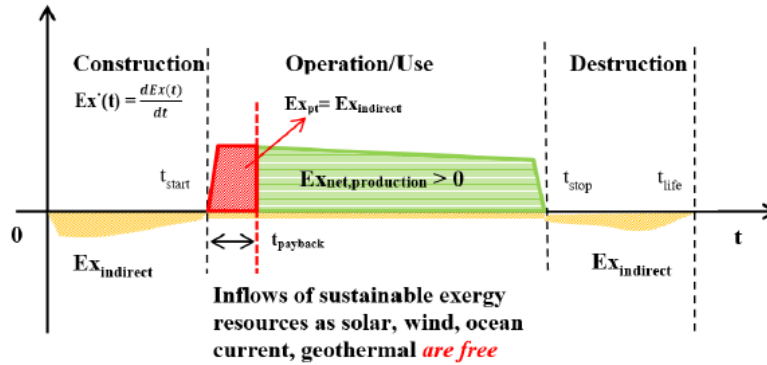


Figure 3: Exergy flow diagram for LCExA of a renewable energy power plant [7, 32].

LCExA method enables us also to analyze the influence of intermittency of RE taking into account the power factor CP and the capacity factor CF by producing heat and electricity. In this context we have to include storage systems which influence the exergy needed in the construction phase.

The exergy conversion and use is usually presented either as exergy payback time (ExPBT) or exergy return on exergy invested (ExROExI) as indicators for sustainability [28]. The way the energy is compared can be a bit different between different assessments. In case of exergy produced from RE the ExPBT should be defined as:

$$\text{ExpBT} = \frac{\text{cumulative exergy required}}{\text{cumulative exergy generated}} \quad [\text{years}] \quad (3)$$

And for

$$\text{ExROExI} = \frac{\text{life time exergy generated}}{\text{cumulative exergy required}} = \frac{\text{lifetime}}{\text{ExpBT}} \quad [-] \quad (4)$$

Cumulative exergy generated includes exergy generated during the operation time. Cumulative exergy required includes exergy of construction materials, maintenance, exergy needed for operation and destruction, minus exergy available because of recycling of some materials.

The use of ExpBT and EROExI defined in (3, 4) are fairly good indicators that an exergy producing process actually produces more exergy than it uses during its life cycle, without regard to the source of exergy required.

3. Sustainable exergy (energy) system based on RE

3.1 Concept

Solar exergy is characterized by low density, high intermittency over day and year. The concentration of available solar exergy and storage system are needed for practical application. Different sustainable energy systems have been proposed using water, wind and direct solar irradiation including geothermal heat and biomass.

Most of them have no integral solution for exergy storage and transition technologies from present to a new, environmentally acceptable, energy system [11].

The sustainable exergy system (SES) as proposed in [16] consists of three main renewable exergy (energy) carriers, needed in industry, transport, services and homes: renewable electricity, gas (synthetic methane CH_4 ; s-methane), liquid (synthetic methanol CH_3OH ; s-methanol) and as fourth solid fuels from biomass (important for developing countries). Renewable electricity is the main driver in the system used for transformation of two natural flows, water and biomass into two new exergy carriers used also as chemical storage of solar electricity (Figure 5). The methane and methanol are chosen, because there are only exergy carriers in nature with one carbon chemically connected with four hydrogens.

The necessary hydrogen and oxygen will be produced with electrolysis of water or other processes, equalizing the sun daily and yearly irradiation variations. Carbon will be taken from biomass where is stored through photosynthesis from the air. For solid fuels (in transition period) we propose to use only the wood log.

S-methane and s-methanol represent the chemical storage of solar exergy (like do the nature in biomass) with exergy efficiency close to the storage of atmospheric carbon in biomass. In this way, the natural circle of carbon dioxide and water is closed. The proposed SES has no GHG emissions, because CO_2 and water are recycled in natural photosynthesis and vapor cycle process.

We must stress out that these exergy carriers can be produced and used in well-developed energy conversion equipments and infrastructure in industry, buildings and transportation. To these three exergy carriers we can add in transition period also bio fuels as ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), dimethyl-ether (CH_3OCH_3), and synthetic diesel made

from the rests of biomass and organic waste. The last survey show, that methanol can be used on different ways in different internal combustion (IC) spark ignition (SI) engines with low emissions and high break thermal efficiency [35]. Methanol is a transportation fuel and has many significant advantages as compared to hydrogen, gasoline and can be in new turbocharged methanol engines good replacement for heavy duty diesel engines. Higher efficiency (nearly 43%) over the wide range of motor speeds and loads in comparison to the standard diesel engines made methanol interesting fuel of the future.

3.2 Characteristics of sustainable (renewable) exergy system –SES

To fulfil the daily exergy needs of different consumers, the new exergy system has to response to the following six main requirements:

- a. Source of exergy must be inexhaustible, available everywhere on the planet;
- b. Using exergy carriers with zero emission of GHG;
- c. Available at any place and any time (in all present forms of exergy needed: solid, liquid, gaseous fuels and electricity);
- d. Must be compatible with existing infrastructure, with minor adaptations;
- e. In transition period the present energy system and SES have to work in parallel with no interference (coexistence of two systems);
- f. Should be competitive with fossil fuels system if all external— none acknowledged environmental costs will be included in their price.

3.3 How does the proposed SES comply with the six requirements?

1. Primary exergy sources

The first primary exergy source in the system is the solar energy (including direct irradiation and all secondary forms of solar exergy: biomass, water, wind, waves), the second is the planetary energy (geothermal heat and tide). Solar irradiation on the planet is about 174.103 TWy/y. In 2013 TPES (Total Primary Exergy Supply) on the planet was only 17.98 TWy/y.

2. No emission of GHG

The burning products of synthesized s-methane and s-methanol are water and CO₂. Water normally circulates in the atmosphere.

Carbon dioxide is released back into the atmosphere and is used for plants growth (~200 Gt/y, [12]).

3. These four energy carriers can be used at any time at any place

Renewable electricity, s-methane, s-methanol and wood can be used anytime and anywhere.

4. For the proposed system we do not need a new infrastructure

Solar electricity can be transported through existing grid on low and high voltage AC and DC lines. For storage of surplus of electricity, the hydrogen production will take place on location where water and biomass will be available. Liquified s-methane can be used as replacement for LNG for transportation in the transition period. The distribution of liquid methanol is well developed and normal gas stations can be (with minor adaptation) used for cars and trucks with adopted or new methanol engines [35].

Heating systems based on s-gas do not need any adaptations or new infrastructure. The boiler using heating oil can be used further, modifying only the burner to use the s-methanol.

5. Coexistence with present energy system

All four energy carriers can coexist with the present energy system. The transition from the present system to a sustainable one is simple and can be implemented very smoothly. In towns and buildings it does not require a new local infrastructure.

6. Should be competitive

All technologies for the conversion are almost well developed (solar cells, wind generator, hydro PP, electrolysis, methanol syntheses, etc.). Methane and methanol synthesis are old, known processes. New processes for direct conversion of CO₂ and hydrogen to methanol are under development. The costs of renewable energy conversion are falling. It is well known that world pretax subsidies for fossil fuels are distorting the energy/exergy market and expand considerably. In year 2011 fossil fuels subsidies go up to \$523 billion/y (up 30%), compared to all subsidies for renewable energy which amounted only \$88 billion/y.

According to IMF report (January 2013), the world fossil fuel pretax subsidies in 2013 have been \$480 billion/y and post-tax subsidies \$1.9 trillion/y. Including the \$1.4 trillion/y environmental damages, total direct and indirect costs, not included in the price of fossil fuels used are \$2.78 trillion/y. Including these subsidies in the final price of fossil fuels, competitiveness of RE will be out of question.

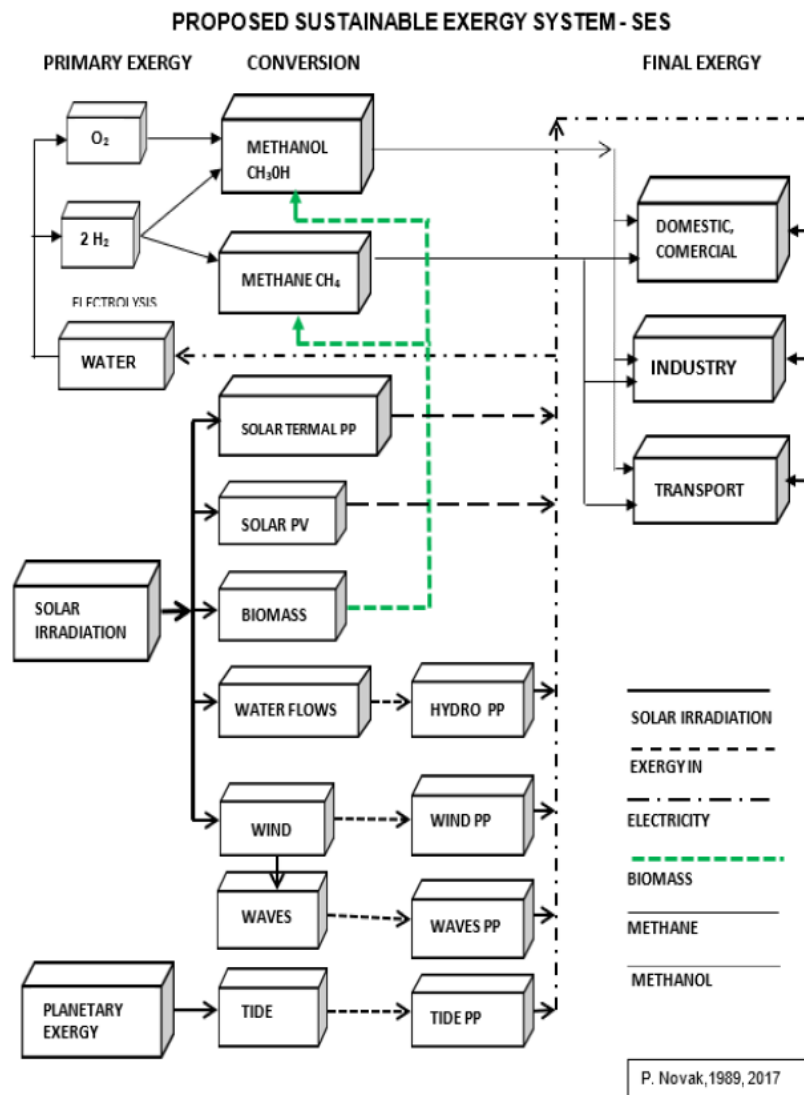


Figure 5: Sustainable energy – exergy - system without emission of GHG [16]

4. Exergy as measure of sustainability of SES

4.1. Exergy efficiency

Some energy and exergy efficiency data of present electrical devices, calculated according to the second law of thermodynamic, are given in Table 1 [8, 10].

Table 1

Energy and exergy efficiency for selected electrical devices [8, 10]

Device	Energy efficiency %	Exergy efficiency %
Generation		
Coal fired power plant	40 ÷ 64	38 ÷ 62
Nuclear power plant	30	28
Hydro power plant	90	90
Wind turbine	0.475 ÷ 0.576	0.475 ÷ 0.576
PV system	6 ÷ 25	6 ÷ 25

Device	Energy efficiency %	Exergy efficiency %
Solar thermal	10 ÷ 30	8 ÷ 25
Co – trigeneration system		
Cogeneration	74	31
Trigeneration	94	28
Resistance space heater	~ 100	6
Hot water heater	90	10
Heat pump –COP 3,8	380	19

Sustainability indicator of the conversion device ExROExI, based on LCExA methodology are for RE defined as quotient of life time of conversion device and expected ExPBT (Eq.4). It can be defined also as quotient of life time exergy produced and cumulative exergy required for construction, maintenance and destruction in the life time, based on meteorological data Exergy for operation, if not from renewable exergy, can be calculated on the same principles. Exergy for equipment destruction or decommissioning is expected to be from renewable sources at a life time over 30 years. In transition period the exergy for construction will be a mixture of non-sustainable exergy from fossil fuels and sustainable exergy from renewable energy.

Exergy efficiency of biomass can be calculated as fund, or as exergy of used biomass. In the first case (fund) we have to include the efficiency of solar exergy conversion by plant. If we use the biomass as exergy flow, we have to include exergy for harvesting.

Using biomass for the final product e.g. electricity or sin-fuels we have to include all conversion efficiencies.

4.2. Sustainability indicator ExROExI for proposed SES

Table 2

ExPBT and ExROExI data for some RE technologies

Tecnology	E _x PBT (years)	E _x ROExI LOW	E _x RE _x I HIGH	COMMENTS
PV	0.2÷0.4	3	6 (28)*	*E _x PBT 0,2
WIND	0.2÷0.5	18 (offshore)	34÷ 18 (onshore)	Cf ~ 0,35 ÷0,19
HYDRO RESERVOIR	1 ÷ 1.5	205	280	Long life time
HYDRO RUN OF	0.5÷1 small 1÷1.5 large	170	267	Long life time
BIOMASS WASTE	0.3÷0.5	10	27	

All this technologies are sustainable, having ExROExI more than 1.

For information: Present conversion efficiency from solar irradiation over sugarcane to bio-ethanol is under 0,032% compared to PV system efficiency of ~16% on the same irradiated area (verified on real data from Brazil bio-ethanol production).

5. Conclusii

In articles we show, that resources cannot be evaluated only according to mass and energy balance, because they do not disappear. Energy cannot be consumed; it can be only transformed in different forms. Using the exergy as the measure of resource depletion we can evaluate the quality of our processes taking into account the conservation of mass and energy. Exergy is also closely connected with sustainability. Sustainable development means less exergy destruction or depletion.

Circular economy promoted in the last years is a policy to minimize the resources destruction, which means minimizing the thermodynamics irreversibilities with higher exergy efficiency. To push the circular economy on the top of society development we need a serious exergy analysis during the life cycle (LCExA) of present technologies and economic patterns. The exergy destruction during a process is proportional to the entropy created due to irreversibilities associated with the process therefore exergy analysis can clearly indicate the locations of energy degradation in a process that may lead to improved operation or technology.

Exergy approach to evaluate the sustainability of present energy system using the ExROExI as sustainability indicator gives us the possibility to make a distinction between fossil fuels conversion technologies and technologies for conversion of renewable sources of energy. To fulfill the requirement of sustainability indicator ExROExI should be 1 or more.

The most important fact is that ExROExI of RE is time independent, even more, with better technologies it will raise with time. On the other hand ExROExI of fossil fuels are descending with time, because of internalization of external costs and growing costs of fossil fuels mining from the Earth. In our case LCExA and ExROExI has been used to analyze sustainable energy system, based on organic carbon circulation in future circular economy. Natural resources are classified as natural flows and stocks.

Stocks are then divided into deposits and funds. Deposits are non-renewable while funds are renewable. Renewable exergy input in our analysis has been disregarded since it represents a natural flow. If not used, natural exergy flows will be wasted and lost as anergy – heat of environment.

Based on this background we proposed a sustainable exergy system without any GHG emissions. The sustainable exergy system (SES) as proposed in [16] consists of three main renewable exergy carriers, needed in industry, transport, commercial and homes: renewable electricity, gas (synthetic methane CH_4 ; s-methane), liquid (synthetic methanol CH_3OH ; s-methanol) and as fourth exergy carrier solid fuels from biomass, important for developing countries in transition period. Renewable electricity is the main driver in the system. It is proposed using the surplus of electricity over the demand for transformation of two natural flows into two new exergy carriers: water and biomass. Those are used also as chemical storage of solar electricity, solving the problem of intermittency of RE.

To fulfill the daily exergy needs of different consumers, the new exergy system has to fulfill the following six main requirements:

- 1) source of exergy must be inexhaustible, available everywhere on the planet;

- 2) new exergy carriers with zero emission of GHG;
- 3) must be available at any place and any time;
- 4) must be compatible with existing infrastructure;
- 5) in transition period enables coexistence of two systems;
- 6) should be competitive.

We show that proposed SES fulfills at large all six requirements.

All proposed energy carriers in the new SES have the ExROExI more than 1.

This means that the proposed sustainable energy system is longterm sustainable and from the social point of view acceptable for all countries on the planet Earth. Those not having enough biomass for carbon recycling have more direct solar exergy and can cover their needs for organic carbon by international trade of solar electricity to biomass.

We have to stress, that the proposed SES can exist with the present one in transition time to 100% of RE supply and is able to use most of the present infrastructure for distribution and conversion of proposed exergy carriers.

References:

- [1] ECO Design Directive, 2009/125/EC; Renewable Energy Directive 2009/28/EC; Energy Efficiency Directive 2012/27/EU; EPDB 2010/31/EU; Energy Union /*COM/2015/080final*/, Closing the loop –An EU action plan for the circular economy, /COM (2015) 614 final/.
- [2] http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:1bd46c90-bdd4-11e4-bbe1-01aa75ed71a1.0001.03/DOC_1&format=PDF.
- [3] http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF.
- [4] Kabelac, S. 'Exergy of solar radiation', Int. J. Energy Technology and Policy, 2005, Vol .3, Nos. ½, pp. 115-122.
- [5] Zamfirescu C., Dincer I.: How much exergy one can obtain from incident solar radiation J. of Applied Physics; 2009, 105, 02291.
- [6] Neri M. e. all: Computing the exergy of solar radiation from real radiation data on the Italian area, 12th Joint European Thermodynamics Conference, Brescia July 1-5, 2013, pp. 452 - 457.
- [7] Davidsson S.: Life Cycle Exergy Analysis of Wind Energy system, <http://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:435510/FULLTEXT01>.
- [8] Rosen A.M., Bulucea A.C.: Using Exergy to Understand and Improve the Efficiency of Electrical Power System, J. Entropy 2009,11, 820-835; doi:10.3390/e11040820.
- [9] Rant. Z. Strojniški vestnik, Ljubljana, 1955, No. 1, pp. 1-3.
- [10] The exergy calculator: <http://www.exergoecology.com/>
- [11] M.Z. Jacobson, M.A. Delucchi: Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I, Part II: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials, Energy Policy 39(2011) 1159
- [12] <https://en.wikipedia.org/wiki/Biomass>, 04.08. 2016;
- [13] https://en.wikipedia.org/wiki/Geothermal_energy, 04.08.2016
- [14] US DOE: U.S. Energy Information Administration / AEO2017 Levelized Costs /
- [15] https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_wave, 29.05.2016;
- [16] P. Novak: The way to the energy sustainable world, Energy and Buildings, 14 (1990) 249–256; Sustainable Energy System with Zero Emissions of GHG for Cities and Countries, Energy and Buildings (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.085>.

- [17] Goe, M. & Gaustad, G.; "Strengthening the case for recycling photovoltaic: An energy payback analysis"; *Applied Energy* 120(2014):41–48.
- [18] Yue, D., You, F. & Darling, S. B. (2014). "Domestic and overseas manufacturing scenarios of silicon-based photovoltaic: Life cycle energy and environmental comparative analysis". *Solar Energy* 105: 669–678.
- [19] Krebs, F. C. (2009). "Fabrication and processing of polymer solar cells: a review of printing and coating techniques". *Solar Energy Materials and Solar Cells* 93 (4);
- [20] Bhandari, K. P., Collier, J. M., Ellingson, R. J. & Apul, D. S. (2015). "Energy payback time (EPBT) and energy return on energy invested (EROI) of solar photovoltaic systems: "A systematic review and metaanalysis". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 47:133–141.
- [21] Varun1, I. K. Bhat, Ravi Prakash: Life Cycle Analysis of Run-of River Small Hydro Power Plants in India; *The Open Renewable Energy Journal*, 2008, 1, 11-16
- [22] Self S.J, Reddy B.V.; Rosen M.A: Energy and exergy analyses of geothermal plants with and without re-injection. *Research J. Of Environmental Science* 9 (2): 74-87, 2015;
- [23] Khagendra P. Bhandarib, Jennifer M. Colliera, Randy J. Ellingsonb, Defne S. Apul:Energy payback time (EPBT) and energy return on energy invested (EROI) of solar photovoltaic systems: A systematic review and meta-analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 47, July 2015, Pages 133–141.
- [24] <http://tc4.iec.ch/FactSheetPayback.pdf> Comparing Energy Options, 6.8.2016.
- [25] Novak P.:Full cycle from solar irradiation to the ethanol, sugar cane to ethanol, Brasilia, EEA Seminar on Biomass, Copenhagen 2010; EEA Seminar: Transport, Mobility and Environment, Ljubljana, 02.10.2012.
- [26] Kewen Li: Comparison of geothermal with solar and wind power generation systems, *PROCEEDINGS, Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering* Stanford University, Stanford, California, February 11-13, 2013.
- [27] Pandeyr S, Saini H: A techno-energetic review on hydrogen production using wind energy, *International Journal of Innovation and Scientific Research*, Vol. 11 No. 2 Nov. 2014, pp. 312- 321.
- [28] Kimball J.: Energy Return on Investment (EROI) for U.S. Oil and Gas Discovery and Production, 17 OCTOBER 2011; <http://8020vision.com/2011/10/17/energy-return-on-investment-eroi-for-u-s-oil-and-gas-discovery-and-production/>, 07.08.2016.
- [29] Gupta A.K, Hall C. A.S.: A Review of the Past and Current State of EROI Data, *Sustainability* 2011, 3, 1796-1809.
- [30] <https://de.wikipedia.org/wiki/Power-to-Gas>, 07.08.2016.
- [31] <http://www.biofuelstp.eu/factsheets/methanol-fact-sheet.html>, 07.08.2016.
- [32] G. Wall, M. Gong: On exergy and sustainable development—Part 1: Conditions and concepts/*Exergy Int. J.* 1(3) (2001) 128–145; Part 2: Indicators and methods/*Exergy Int. J.* 1(4) (2001) 217–233.
- [33] E. Sciuba., G.Wall: A brief Commented History of Exergy From the Beginnings to 2004/*Int. J. of Thermodynamics*, Vol. 10 (No. 1), pp. 1-26, March 2007 ISSN 1301-9724.
- [34] <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2015/Energy-Revolution-2015-Full.pdf>, 07.08.2017, pg.44.
- [35] Xudong Zhen, Yang Wang: An overview of methanol as an internal combustion engine fuel, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, December 2015, DOI: 10.1016/j.rser.2015.07.083.
- [36] Charles J. Barnhart,*a Michael Dale,a Adam R. Brandtb and Sally M.Bensonab: The energetic implications of curtailing versus storing solarand wind-generated electricity; *Energy Environ. Sci.* , 2013, 6, 2804.
- [37] F. Ferroni, R.J. Hopkirk: Energy Return on Energy Invested (ERoEI) for photovoltaic solar system in regions of moderate insolation, *J. Energy Policy* 94 (2016), 336-344.

Sistem de cogenerare-trigenerare. Analiza energetica pe un scenariu de alimentare a unui consumator

Cogeneration-trigeneration system. Energy analysis on a consumer scenario

Prof. dr. ing. Florin Iordache – UTCB-FII

Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti
Facultatea de Inginerie a Instalatiilor
Bdul. Pache Protopopescu, 66
fliord@yahoo.com

Rezumat

In cadrul lucrarii se realizeaza o analiza energetica pentru un sistem sursa neconventional compus din sistem de cogenerare cu motoare cu ardere interna cuplat cu o centrala termica si cu o masina frigorifica cu absorbtie in vederea alimentarii cu energie termica, energie frigorifica si energie electrica a unui consumator alcatuit dintr-un numar de 6 cladiri care necesita incalzirea si climatizarea spatiilor, prepararea apei calde si asigurarea energiei electrice pentru iluminat si functionarea echipamentelor electrice. Analiza efectuata vizeaza separat sezonul rece al anului cand in joc intra numai subsistemul de cogenerare si centrala termica si separat sezonul cald cand se adauga si masina frigorifica cu absorbtie in vederea prepararii apei reci pentru climatizarea spatiilor. Datele obtinute ca rezultat al analizei energetice sunt prezentate sintetic in tabele si grafic in diagrame. Pe baza lor se fac comentarii cu caracter calitativ si cantitativ asupra beneficiilor unui astfel de sistem.

Cuvinte cheie: sursa neconventionala, sistem cogenerare

Abstract

An energy analysis for an unconventional source system consisting of cogeneration system with internal combustion engines coupled with a thermal boiler and with an absorbing refrigerator in order to supply a thermal energy, refrigeration energy and electricity of a consumer consisting of a number of 6 buildings that require space heating and air conditioning, hot water preparation and electric lighting and electrical equipment operation.

The analysis is aimed separately at the cold season of the year when only the cogeneration subsystem and the heat plant come into play and separately the warm season when the absorption refrigerating machine is added to prepare cold water for air conditioning. The data obtained as a result of energy analysis are summarized in tables and graphs in diagrams. On their basis, qualitative and quantitative comments are made on the benefits of such a system.

Key words: unconventional source, cogeneration system

1. Introducere

Sistemele neconventionale de alimentare cu energie a consumatorilor, utilizand surse regenerabile sau recuperari de energie sunt o solutie din ce in ce mai des utilizata in alimentarea cu energie termica sau electrica a consumatorilor din categoria cladirilor rezidentiale sau nerezidentiale. In cadrul prezentei lucrari sistemul neconventional este compus dintr-un sistem de cogenerare cu motoare cu ardere interna utilizat ca atare in perioada sezonului rece si in combinatie cu o masina frigorifica cu absorbtie in perioada sezonului cald. Consumatorul considerat este reprezentat de un grup de cladiri avand ca necesitati pe perioada sezonului rece : incalzirea spatiilor, prepararea apei calde de consum si energia electrica necesara iluminarii spatiilor si consumurilor interne proprii categoriei cladirilor, iar pe perioada sezonului cald al anului : climatizarea spatiilor, prepararea apei calde de consum si la fel ca si in sezonul rece energia electrica necesara iluminarii spatiilor si consumurilor interne proprii categoriei cladirilor.

In cadrul lucrarii se realizeaza o analiza energetica pe perioada sezonului rece si al sezonului cald, sistemul sursa de cogenerare-trigenerare modulandu-si puterea termica cat mai aproape de fluctuatia necesarurilor energetice ale consumatorului. Energia electrica excedentara produsa de sistemul neconventional va fi considerata valorificabila in cadrul analizei energetice.

2. Descrierea sistemului sursa si a consumatorilor. Date climatice.

Sistemul sursa neconventional este compus de motoare cu ardere interna functionand cu combustibil gaz natural (GN) si care produce energie electrica si energie termica prin recuperarea la racirea chiulasei motoarelor, prin recuperarea la racirea uleiului si prin recuperarea la gazele arse evacuate. Se va considera ca randamentul electric este de 36% iar randamentul termic de 52%, in total rezultand un randament de 88%, aceasta fiind structura sursei in perioada sezonului rece al anului. In perioada sezonului cald, la sistemul de cogenerare cu motoare termice se adauga o masina frigorifica cu absorbtie care utilizeaza energia termica produsa de motoarele cu ardere interna ca sursa de caldura la fierbatorul masinii frigorifice in vederea producerii de apa rece la vaporizator. In cadrul acestei lucrari se va considera ca eficienta masinii frigorifice este de 60% adica energia frigorifica produsa de masina frigorifica este 60% din energia termica provenita de la sistemul de cogenerare.

Se va considera si o sursa de energie termica clasica de tip centrala termica avand caracteristic un randament de 90%. O alta ipoteza abordata in cadrul lucrarii consta in faptul ca randamentele si eficientele mentionate mai inainte pentru motoarele termice, masina frigorifica cu absorbtie si centralele termice vor fi considerate constante in ipoteza functionarii acestora la sarcini partiale.

Consumatorul deservit este un grup de 6 cladiri nerezidentiale pentru care trebuie asigurate utilitatile mentionate. Grupul de cladiri este caracterizat de un factor complex de cuplaj termic $H = 41143 \text{ W/K}$ util pentru evaluarea necesarurilor termice si de frig in perioada sezonului rece si respectiv cald. Pentru prepararea apei calde s-a

stabilit ca necesara asigurarea unei puteri termice constante pe tot parcursul anului in valoare de 144 kW, iar pentru asigurarea necesitatilor de energie electrica pentru iluminat si aparatele electrice interioare s-a stabilit deasemenea o putere constanta de 72 kW.

Atat sursa cat si grupul de consumatori s-a considerat ca se gasesc in municipiul Bucuresti si pentru care s-au utilizat date climatice de temperaturi exterioare si intensitati de radiatie solara conform SR 4839 si Mc001. Pentru sezonul rece al anului a fost necesara stabilirea unei diagrame de temperaturi exterioare asociate cu frecvente de aparitie a acestora (fig.1).

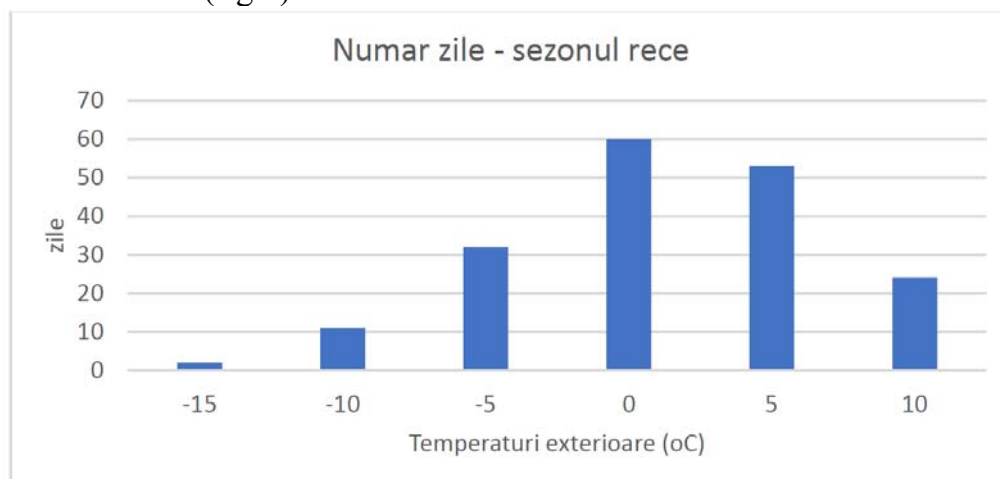


Fig. 1

Temperatura exterioara de -15°C este reprezentativa pentru intervalul -17,5 ÷ -12,5°C, si in continuare : -10°C pentru -12,5 ÷ -7,5°C, -5°C pentru -7,5 ÷ -2,5°C, 0°C pentru -2,5 ÷ +2,5°C, +5°C pentru +2,5 ÷ +7,5°C, +10°C pentru +7,5 ÷ +12,5°C. Sunt acoperite in acest fel 182 de zile asociate sezonului rece. In ceea ce priveste intensitatile de radiatie solara s-au utilizat asa cum s-a mentionat valorile din Mc001. Pentru numarul de zile din perioada sezonului cald s-au asociat celor 5 luni de vara un numar de 183 de zile dupa cum se poate observa in fig 2. Numarul de zile din lunile mai...septembrie a fost extins in vederea acoperirii sezonului cald caracterizat de cca. 183 zile.

Trebuie sa mentionam faptul ca s-a tinut seama de degajarile interioare de energie termica si de aporturile exterioare atat pe perioada sezonului rece cat si sezonului cald, astfel incat necesarul de caldura mediu pe perioade in sezonul rece s-a facut prin evaluarea produsului : $P_{inc} = H \cdot (t_{ee} - t_e)$. Temperaturile exterioare de echilibru au fost calculate conform procedurii prezentate in Mc001, pe baza aporturilor interne si externe si a factorului complex de cuplaj termic. Aceeasi procedura a fost aplicata si pe perioada sezonului cald in vederea determinarii puterilor termice excedentare ce trebuie eliminate.

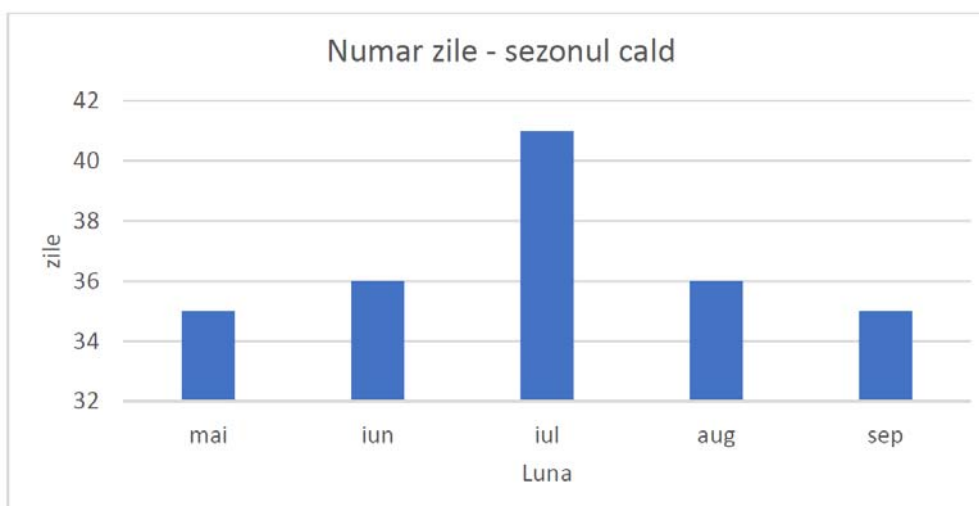


Fig.2

3. Scenariu de alimentare. Analiza energetica studiu de caz

Alimentarea cu caldura si frig a consumatorului compus din grupul de cladiri prezentat in capitolul 2 a lucrarii se face dupa cum s-a prezentat, utilizand atat sistemul de cogenerare cu motoare cu ardere interna cat si centrala termice si chilerul cu absorbtie. Prin scenariu de alimentare intelegem proportia de putere termica, asigurata din partea sistemului de cogenerare si din partea centralei termice. In ceea ce priveste sistemul de cogenerare s- a considerat ca sunt utilizate cel mult 2 motoare cu ardere interna cu puterea nominala de 1000 kW la nivel de combustibil utilizat (GN), si in cazul in care ele lucreaza la sarcini partiale acestea pot fi de 75% sau 50% din puterea nominala. In ceea ce priveste centrala termica s-a considerat ca ea poate lucra si la sarcini partiale mai scazute decat 50%. Necesarul de energie frigorifica a fost transformat (amplificat) in energie termica la nivelul sistemului de cogenerare prin raportare la eficienta considerata a masinii frigorifice cu absorbtie (60%).

In tabelul 1 se prezinta situatia puterilor termice si electrice si a energiilor termice si electrice aferente consumatorului pe perioada sezonului rece al anului.

Tabelul 1

CONS - IARNA		INCALZIRE		ACC		EN. ELECTRICA	
oC	zile	kW	MWh	kW	MWh	kW	MWh
te	Nz	Pinc	Einc	Pacc	Eacc	Pelc	Eelc
-15	2	1232	59	144	7	72	3
-10	11	1018	269	144	38	72	19
-5	32	803	617	144	111	72	55
0	60	588	847	144	207	72	104
5	53	374	475	144	183	72	92
10	24	159	92	144	83	72	41
Total	182		2359		629		314

In tabelul 2 se prezinta situatia puterilor termice si electrice livrate de motoarele

cu ardere internă și de centrală termică în sezonul rece al anului. Se prezintă numărul de motoare și nivelul de sarcină parțială implicată și numărul de centrale termice și nivelul sarcinii parțiale. Atât în cazul motoarelor cu ardere internă cât și în cazul centralei termice, se prezintă în tabelul 2 și puterile termice pierdute.

Tabelul 2

IARNA	MAI					CT				
oC	(-)	%	kW _{th}	kW _{el}	kW	(-)	%	kW _{th}	kW _{el}	kW
te	Nr. MAI	Sarcina	P _{th} MAI	P _{el} MAI	p _d MAI	Nr. CT	Sarcina	P _{th} CT	P _{el} CT	p _d CT
-15	2	100	1040	720	240	1	100	338	0	38
-10	2	100	1040	720	240	1	36	122	0	14
-5	1 + 1	75 + 50	650	450	150	1	88	297	0	33
0	1	100	520	360	120	1	63	212	0	24
5	1	75	390	270	90	1	38	128	0	14
10	1	50	260	180	60	1	13	43	0	5

În tabelul 3 se prezintă situația energiilor termice, electrice și pierdute în situația grupului de motoare cu ardere internă și în situația centralei termice, pe perioada sezonului rece.

Tabelul 3

IARNA	MAI			CT			MAI + CT		
oC	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
te	E _{th} MAI	E _{el} MAI	E _{pd} MAI	E _{th} CT	E _{el} CT	E _{pd} CT	E _{th}	E _{el}	E _{pd}
-15	50	35	12	16	0	2	66	35	13
-10	275	190	63	32	0	4	307	190	67
-5	499	346	115	228	0	25	727	346	141
0	749	518	173	306	0	34	1054	518	207
5	496	343	114	163	0	18	659	343	133
10	150	104	35	25	0	3	175	104	37
Total	2218	1536	512	770	0	85	2988	1536	597

O imagine comparativă mai bună asupra bilanțurilor de puteri și de energie rezultă din transpunerea grafică a datelor din tabelele 1...3 prezentate.

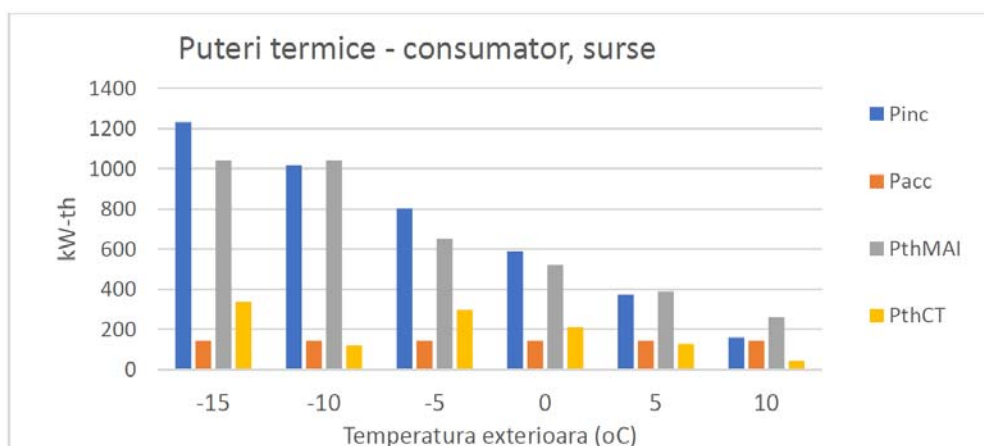


Fig.3

In fig. 3 se prezinta situatia puterilor termice la consumator si la surse. functie de cele 6 perioade caracteristice ale sezonului rece. Se observa diferentele dintre puterile termice necesare pentru incalzirea spatiilor si pentru prepararea apei calde de consum si cotele de acoperire a acestora de catre grupul de motoare termice si de catre centrala termica. Utilizarea centralei termice s-a facut in toate din cele 6 perioade in ideea realizarii unei modulari cat mai bune a puterii termice furnizate de surse cu puterea termica necesara a consumatorului.

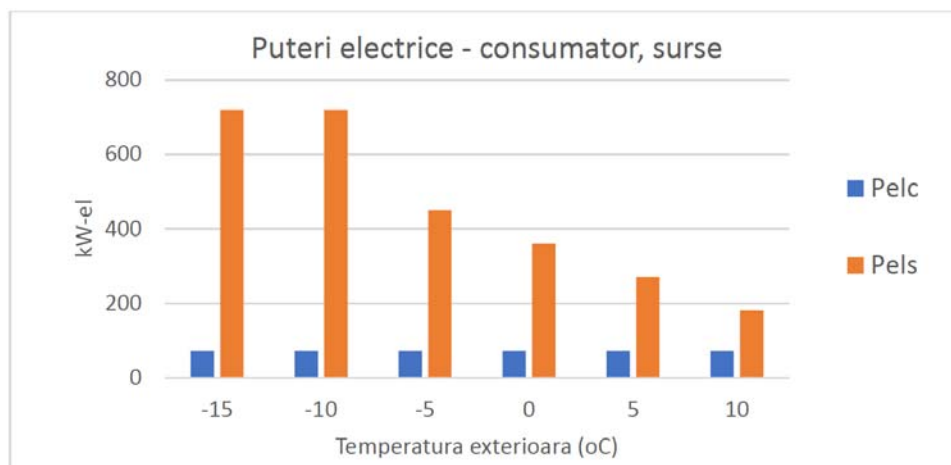


Fig. 4

In fig. 4 se prezinta grafic situatia puterilor electrice la nivelul consumatorului si la nivelul sistemului de surse pe cele 6 perioade caracteristice ale sezonului rece. Se observa surplusul de putere electrica datorat sistemului de cogenerare, surplus care va fi transmis in sistemul electric national.

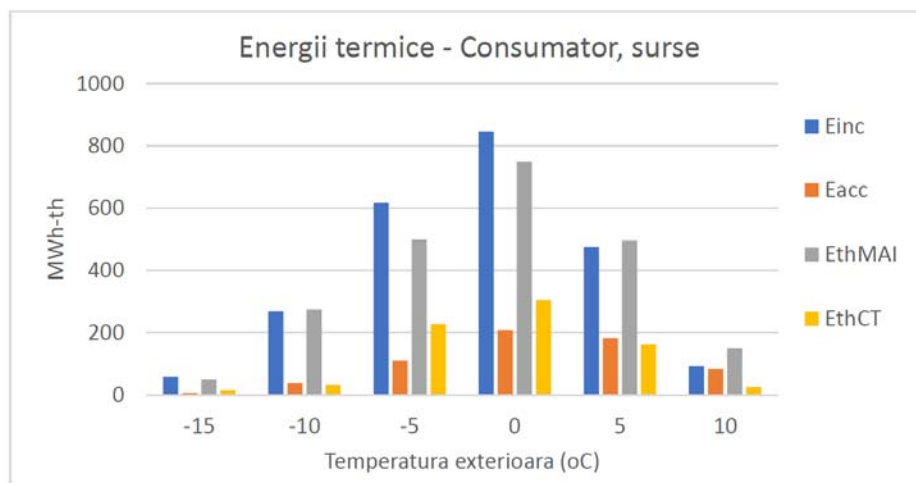


Fig.5

In fig. 5 se prezinta situatia comparativa a cantitatilor de energie termica la nivel de consumator si de sistem de surse. Se observa ca : perioada de mijloc a sezonului rece este caracterizata de cel mai mare consum de energie termica, incalzirea

spatiilor este net mai consumatoare decat prepararea apei calde de consum si energia termica livrata de sistemul de cogenerare este deasemenea net mai furnizoare decat centrala termica.

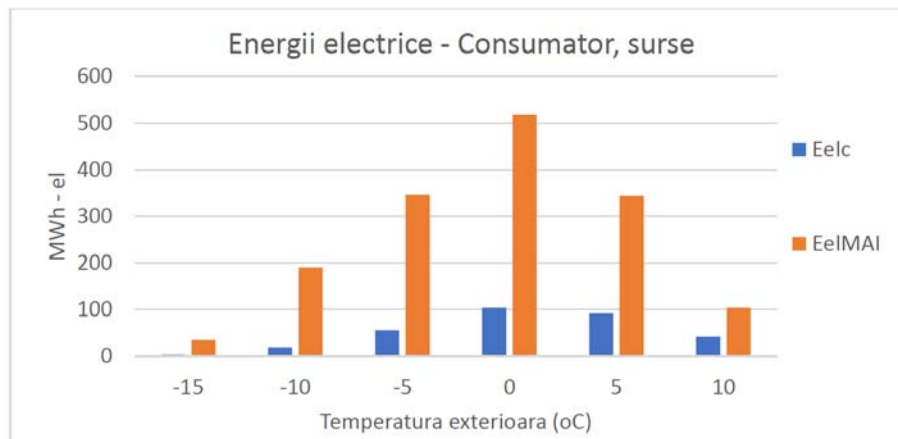


Fig. 6

In fig. 6 se prezinta situatia comparativa a cantitatilor de energie electrica la nivel de consumator si de sistem de surse. Se observa : o cantitate de energie electrica sensibil mai mare in perioada de mijloc a sezonului rece al anului si faptul ca energia electrica furnizata de grupul motoarelor cu ardere interna este net superioara necesarului propriu al consumatorului pentru care s-a dimensionat termic sursa de cogenerare.

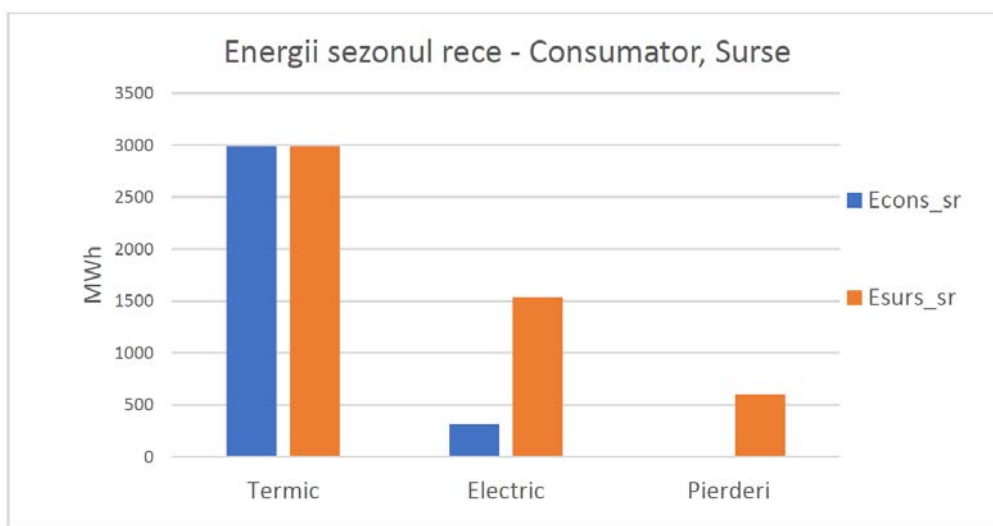


Fig.7

In fig. 7 se prezinta situatia in sezonul rece a energiilor termice, electrice si pierdute. Se observa ca : nivelul cel mai ridicat apartine energiei termice, iar in ceea ce priveste energia electrica aceasta este sensibil mai ridicata la surse decat este strict necesarul propriu la consumator. Surplusul de energie electrica trebuie valorificat prin livrarea in sistemul national. Daca definim un randament global pentru intreg sezonul

rece al anului ca fiind raportul între energia utilă totală pe întreg sezonul rece raportată la energia totală consumată de sursă combinată (cogenerare + centrală termică) se obține o valoare de 88%. S-a luat în considerare că energie utilă și surplusul de energie electrică livrat în sistemul național. Valoarea subunitară a randamentului se datorează strict energiilor pierdute de către sistemul de cogenerare și de către centrala termică.

Trecând acum la perioada sezonului cald al anului în tabelul 4 se prezintă situația puterilor termice și electrice și a energiilor termice și electrice aferente consumatorului.

Tabel 4

CONS - VARA		CLIMATIZARE		ACC		EN. ELECTRICA	
	zile	kW	MWh	kW	MWh	kW	MWh
luna	Nz	Pclim	Eclim	Pacc	Eacc	Pelc	Eelc
mai	35	5	4	144	121	72	60
iun	36	155	134	144	124	72	62
iul	41	223	220	144	142	72	71
aug	36	202	175	144	124	72	62
sep	35	18	15	144	121	72	60
Total	183		547		632		316

În tabelul 5 se prezintă situația puterilor termice și electrice livrate de motoarele cu ardere internă și de centrala termică în sezonul cald al anului. Se prezintă numărul de motoare și nivelul de sarcină parțială implicat și numărul de centrale termice și nivelul sarcinii parțiale. Atât în cazul motoarelor cu ardere internă cât și în cazul centralei termice, se prezintă în tabelul 5 și puterile termice pierdute.

Tabel 5

VARA	MAI					CT				
	(-)	%	kWth	kWel	kW	(-)	%	kWth	kWel	kW
luna	Nr. MAI	Sarcina	PthMAI	PeI MAI	pdMAI	Nr. CT	Sarcina	PthCT	PeICT	pdCT
mai	0	0	0	0	0	1	45	152	0	17
iun	1	50	260	180	60	1	42	142	0	16
iul	1	100	520	360	120	0	0	0	0	0
aug	1	50	260	180	60	1	66	221	0	25
sep	0	0	0	0	0	1	51	174	0	19

În tabelul 6 se prezintă situația energiilor termice, electrice și pierdute în situația grupului de motoare cu ardere internă și în situația centralei termice pe perioada sezonului cald.

Tabel 6

VARA	MAI			CT			MAI + CT		
	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
luna	EthMAI	EelMAI	EpdMAI	EthCT	EelCT	EpdCT	Eth	Eel	Epd
mai	0	0	0	128	0	14	128	0	14
iun	225	156	52	123	0	14	347	156	65
iul	512	354	118	0	0	0	512	354	118
aug	225	156	52	191	0	21	416	156	73
sep	0	0	0	146	0	16	146	0	16
Total	961	665	222	588	0	65	1549	665	287

La fel, o imagine comparativa mai buna asupra bilanturilor de puteri si de energie rezulta din transpunerea grafica a datelor din tabelele 4...6 prezentate.

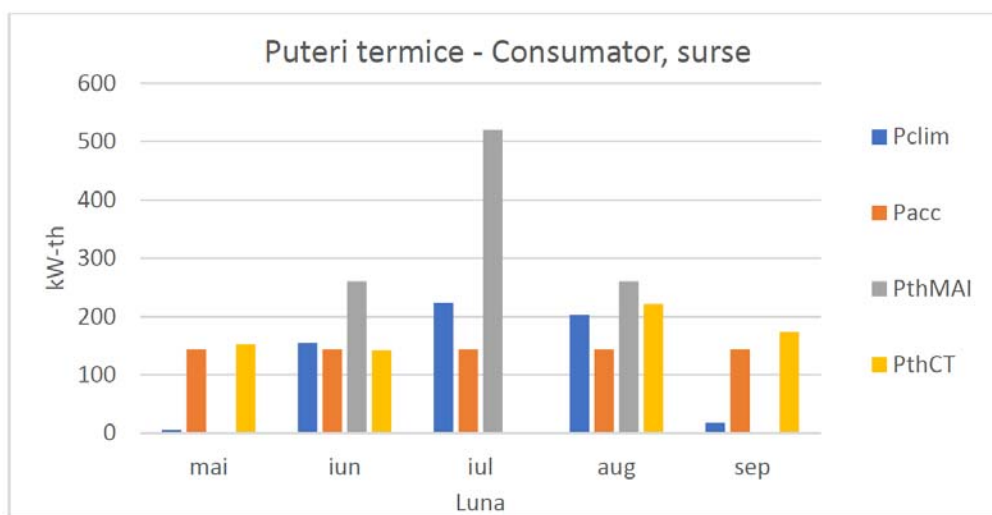


Fig. 8

In fig. 8 se prezinta situatia puterilor termice la consumator si la surse, functie de cele 5 perioade caracteristice ale sezonului cald. Aici se observa in principal faptul ca lunile iunie, iulie si august, cand functioneaza cogenerarea, puterea termica livrata de surse este vizibil mai mare decat puterea termica necesara consumatorului. Aceasta se datoreaza faptului ca puterea frigorifica necesara pentru climatizare este acoperita de o putere termica de 1,67 (1/0,6) ori mai mare, livrata de cogenerare la fierbatorul masinii frigorifice. In lunile mai si septembrie nu este necesara functionarea cogenerarii.

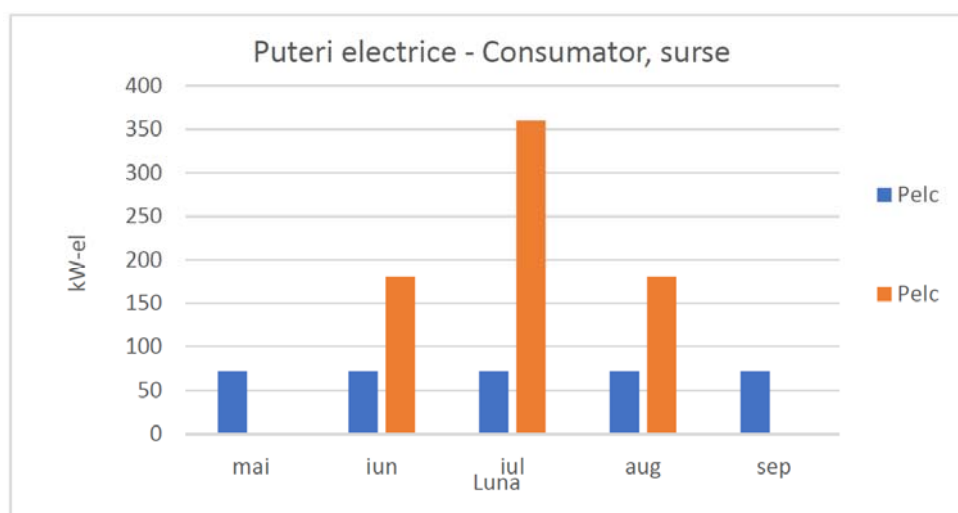


Fig. 9

In fig. 9 se prezinta grafic situatia puterilor electrice la nivelul consumatorului si la nivelul sistemului de surse pe cele 5 perioade caracteristice ale sezonului cald. Se observa surplusul de putere electrica datorat sistemului de cogenerare, surplus care va fi transmis in sistemul electric national.

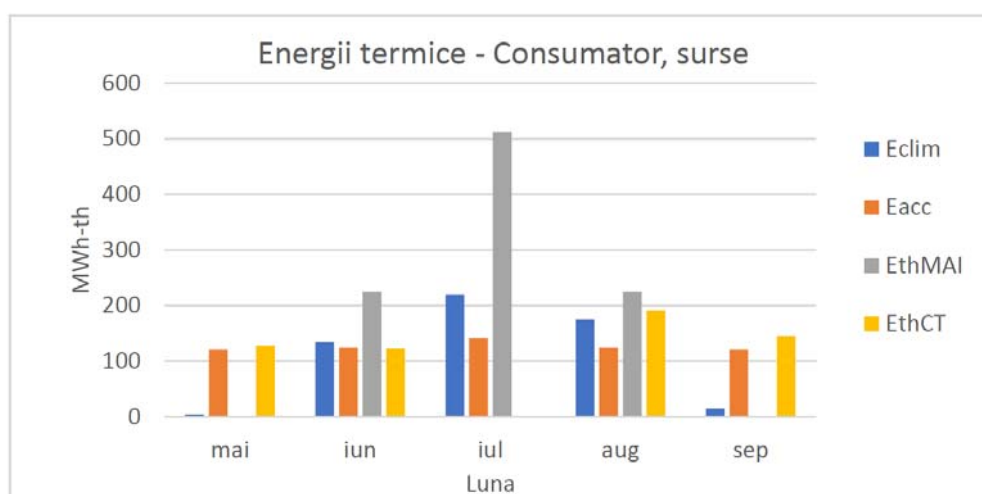


Fig. 10

In fig. 10 se prezinta situatia comparativa a cantitatilor de energie termica la nivel de consumator si de sistem de surse. Se observa ca: perioada de mijloc a sezonului cald este caracterizata de cel mai mare consum de energie termica, si asa cum deja s-a prezentat, energia pentru climatizarea spatiilor si prepararea apei calde este vizibil mai scazuta ca necesar termic decat energia termica livrata de la grupul de cogenerare si centrala termica.

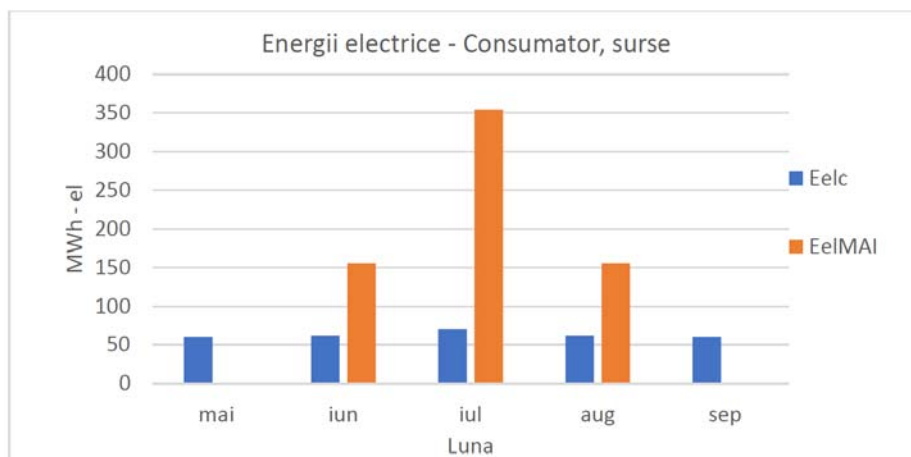


Fig. 11

In fig. 11 se prezinta situatia comparativa a cantitatilor de energie electrica la nivel de consumator si de sistem de surse. Se observa : o cantitate de energie electrica sensibil mai mare in perioada de mijloc a sezonului cald al anului si faptul ca energia electrica furnizata de grupul motoarelor cu ardere interna este net superioara necesarului propriu al consumatorului pentru care s-a dimensionat termic sursa de cogenerare.

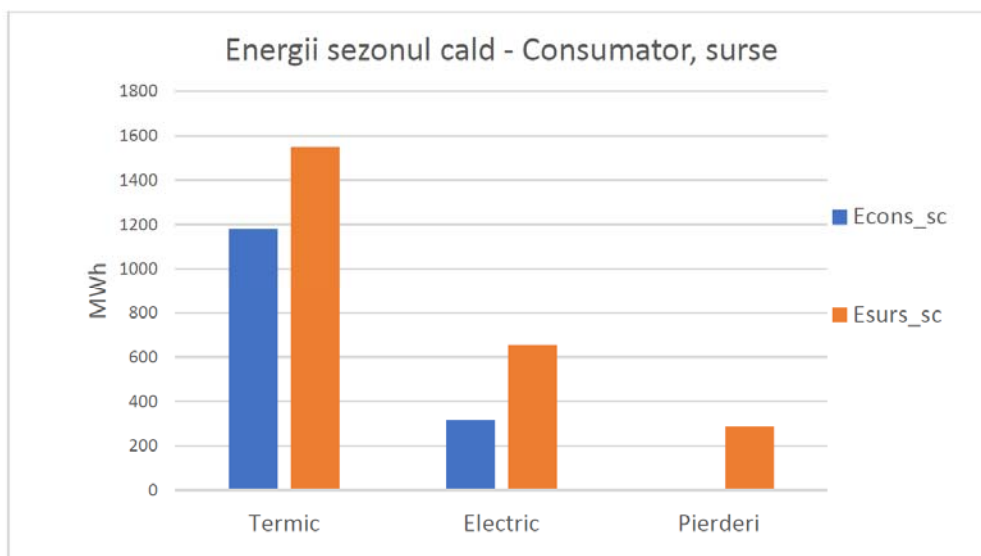


Fig. 12

In fig. 12 se prezinta situatia in sezonul cald a energiilor termice, electrice si pierdute. Se observa ca : nivelul cel mai ridicat apartine energiei termice, iar in ceea ce priveste energia electrica aceasta este sensibil mai ridicata la surse decat este strict necesarul propriu la consumator. Surplusul de energie electrica trebuie valorificat prin livrarea in sistemul national. De asemenea se remarca faptul ca la energia termica energia aferenta surselor este mai mare decat energia la consumator. Aceasta se datoreaza faptului ca evaluarea la consumator s-a facut pe baza necesarului de frig iar la surse evaluarea s-a facut pe baza energiei livrate la fierbatorul masinii frigorifice,

intre acestea doua existand un factor de transformare de 1,67. Daca definim un randament global pentru intreg sezonul cald al anului ca fiind raportul intre energia utila totala pe intreg sezonul cald raportata la energia totala consumata de sursa combinata (cogenerare + centrala termica) se obtine o valoare de 74%. S-a luat in considerare ca energie utila si surplusul de energie electrica livrat in sistemul national. Valoarea subunitara a randamentului se datoreaza strict energiilor pierdute de catre sistemul de cogenerare si de catre centrala termica.

Un bilant la nivelul intregului an compus din cele doua sezoane, rece si cald conduce la situatia prezentata in diagrama din fig. 13, de unde rezulta si un randament global de 84%.

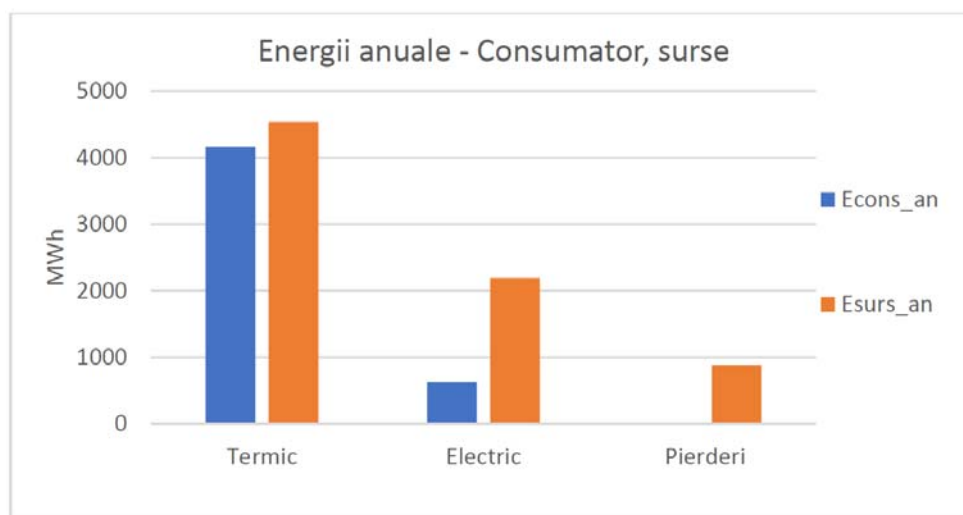


Fig. 13

4. Concluzii

In cadrul lucrarii s-a realizat o analiza energetica pentru un sistem sursa neconventional compus din sistem de cogenerare cu motoare cu ardere interna cuplat cu o centrala termica si cu o masina frigorifica cu absorbtie in vederea alimentarii cu energie termica, energie frigorifica si energie electrica a unui consumator alcatuit dintr-un numar de 6 cladiri care necesita incalzirea si climatizarea spatiilor, prepararea apei calde si asigurarea energiei electrice pentru iluminat si functionarea echipamentelor electrice. Analiza efectuata a vizat separat sezonul rece al anului, cand in joc intra numai subsistemul de cogenerare si centrala termica si separat sezonul cald cand se adauga si masina frigorifica cu absorbtie. S-a stabilit pe baza bilanturilor termice si electrice pe tot parcursul sezonului rece si sezonului cald ca in sezonul rece randamentul sistemului sursa neconventional este de 88% iar in sezonul cald randamentul sistemului sursa neconventional este de 74%, ceea ce conduce la un randament anual de 84%. Toata analiza intreprinsa a fost facuta pe un studiu de caz care a adoptat un scenariu de alimentare cu caldura si frig pentru incalzirea, climatizarea si prepararea apei calde de consum. Scenariul adoptat a urmarit o modulare cat mai fina a puterilor termice furnizate de sistemul sursa dupa puterile

termice necesare la nivelul consumatorului. Se observa ca sistemul sursa neconventional furnizeaza o cantitate de energie electrica net superioara consumatorului propriu-zis, surplus care trebuie livrat in sistemul national. Practic dimensionarea sistemului sursa de cogenerare se face pe parte termica energia electrica produsa rezultand in consecinta. O alta concluzie care se desprinde este aceea ca energia implicata in sezonul cald este sensibil mai scazuta decat in sezonul rece.

Lista de notatii si abrevieri

H - factorul de cuplaj complex aferent consumatorului, W/K;
 t_e - temperatura exterioara, °C;
 t_{ee} - temperatura exterioara de echilibru, °C; Nz – numar de zile, zi;
 P_{inc} - puterea termica necesara la incalzirea consumatorului, kW;
 P_{clim} - puterea termica necesara la climatizarea consumatorului, kW;
 P_{acc} - puterea termica necesara la prepararea apei calde a consumatorului, kW;
 P_{elc} - puterea electrica necesara la consumator, kW;
 E_{inc} - energia termica necesara la incalzirea consumatorului, MWh;
 E_{clim} - energia termica necesara la climatizarea consumatorului, MWh;
 E_{acc} - energia termica necesara la prepararea apei calde a consumatorului, MWh;
 E_{elc} - energia electrica necesara la consumator, MWh;
 P_{els} - puterea electrica livrata de sistemul sursa, kW;
 P_{thMAI} - puterea termica livrata de motoarele cu ardere interna, kW;
 P_{elMAI} - puterea electrica livrata de motoarele cu ardere interna, kW;
 P_{thCT} - puterea termica livrata de centrala termica, kW;
 P_{elCT} - puterea electrica livrata de centrala termica, kW;
 pd_{MAI} - puterea pierduta la motoarele cu ardere interne, kW;
 pd_{CT} - puterea pierduta la centrala termica, kW;
 E_{thMAI} - energia termica livrata de motoarele cu ardere interna, MWh;
 E_{elMAI} - energia electrica livrata de motoarele cu ardere intena, MWh;
 E_{pdMAI} - energia pierduta de motoarele cu ardere interna, MWh;
 E_{thCT} - energia termica livrata de centrala termica, MWh;
 E_{elCT} - energia electrica livrata de centrala termica, MWh;
 E_{pdCT} - energia pierduta de centrala termica, MWh;
 E_{th} - energia termica totala livrata de sistemul sursa, MWh;
 E_{el} - energia electrica totala livrata de sistemul sursa, MWh;
 E_{pd} - energia totala pierduta de sistemul sursa, MWh;
 E_{cons_sr} - energia necesara la consumator in sezonul rece al anului, MWh;
 E_{cons_sc} - energia necesara la consumator in sezonul cald al anului, MWh;
 E_{cons_an} - energia necesara anuala la consummator, MWh;
 E_{surs_sr} - energia livrata de sistemul sursa in sezonul rece al anului, MWh;
 E_{surs_sc} - energia livrata de sistemul sursa in sezonul cald al anului, MWh;
 E_{surs_an} - energia livrata anual de sistemul sursa, MWh;

MAI - motoare cu ardere internă;
CT - centrala 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. Florin Iordache – Echipamente și sisteme termice. Metode de evaluare energetică și funcțională, pag. 114 (Florin Iordache, Radu Alexandru Băciu, Ștefan Burchila – Analiza energetică privind utilizarea unui sistem de cogenerare pentru alimentarea cu căldură a unui ansamblu de blocuri din mediul urban) – editura Matrixrom, 2017, ISBN:978-606-25-0325-3;

From irreversibility to sustainability linking energy storage, geo-ecology recovery and renewables

Prof. Marija S. TODOROVIĆ

Guest Prof. School of Energy and Environment,
Southeast University Nanjing, China,
CEO vea-invi.ltd, Belgrade, Serbia

Abstract:

Trying to find a way to make a turn from the current one-way irreversibility to sustainability, in addition to the uninterrupted R&D aimed to advance RES (Renewable Energy Sources) technologies it is necessary to find innovative ways of universal schemes, quantities, indicators and criteria relevant for the sustainable Earth resources utilization, environment protection and/or already damaged environment recovery. Interruptible availability and variable quality of most types of the RES requests energy storage. Large-scale RES utilization needs large-scale storage systems and large storage volumes. Worldwide, many abandoned mines (of coal or minerals) offer large storage volumes almost ready-made to be used directly for energy storage. Related technologies and a few case studies are reviewed.

Key words: renewable energy sources, sustainable Earth

1. Introduction

As, fossil energy resources are closer to their exhaustion, global warming is rising, and more catastrophic weather extremes are occurring worldwide, there are more and more warnings that the risks to the Earth humanity survival are also in growth and the Earth/humanity as a whole is becoming more complex system than ever /1/. Trying to find a way to make a turn from the current oneway irreversibility to sustainability, in addition to the uninterrupted R&D aimed to advance RES (Renewable Energy Sources) technologies it is necessary to find innovative ways of universal schemes, quantities, indicators and criteria relevant for the sustainable Earth resources utilization, environment protection and/or already damaged environment recovery to reach humanity's resilience and sustainability.

Renewable energy sources (RES), particularly solar and wind, have significant potential for replacing fossil fuels and reduction of CO₂ and other GHG emissions in all economies and societies areas of electrical and thermal energy demands in Serbia and Romania as well as in other countries worldwide. However, as both solar and wind energy availability and power intensity are strongly variable and intermittent, broader spreading larger amounts of their integration and dispatchable utilization in corresponding countries energy systems is still pretty far away from the earlier predictions and expectations. Consequently, there is crucial need to find reliable ways to increase reliability of these systems. In NREL (Oak Ridge) study /2/ did explore

impact of energy storage on the large scale implementation of solar and wind energy in the electricity grid. Renewable energy sources, such as wind and solar, have vast potential to reduce dependence on fossil fuels and greenhouse gas emissions in the electric sector. Because their intermittency and variability there is increased challenge for the deployment of energy storage as an essential component of energy systems that should use at large scale these RR (Renewable Resources). An approach is to be found that can confirm maintenance of the required system reliability, including necessary technologies and changes in operational routines, as well as the cost-competitiveness benefits of the selected technology/ies. Report /2/ presents results of conducted evaluation of the potential role of several forms of enabling technologies for energy management, including energy storage in the electricity grid addressing especially effects of large-scale deployment of wind and solar energy. Beside high-energy batteries, study did encompass Pumped Hydro Storage (PHS), Compressed Air Energy Storage (CAES) and Thermal Energy Storage.

2. Pumped Hydro, Compressed Air and Thermal Energy Storage

PHS Pumped hydro storage is the only energy storage technology deployed on a GW scale worldwide /2/. PHS is using conventional pumps and turbines and needs significant amount of land and water for necessary two reservoirs (the upper and lower).

PHS systems can achieve overall efficiencies above 75%.

Environmental regulations may limit large-scale above- ground PHS systems. However, study /4/ includes also great alternative environmentally even friendly lower-impact configurations: natural or mined underground formations for the lower reservoir.

Underground pumped-storage hydro power plants with mine water in abandoned coal mines is topic addressed in /21/. The Asturian Central Coal Basin in northern Spain has been an exploited coal mining area for many decades and its network of tunnels extends among more than 30 mines according to /21/. Its infrastructure parts will soon become available for alternative uses since most of the underground coal mining facilities in Spain will fade out in 2018 (EU 2010/787/UE). The network of tunnels in closed-down mines has been suggested as a possible lower storage for the development of an underground pumped-storage project whose infrastructure can hold approximately 200,000 m³ at depths that range between 300-600 m.

CAES technology is based on conventional gas turbine technology and uses the expansion potential energy of compressed air. Energy is stored by compressing air in an airtight space -underground storage cavern. As described in /2/ for extraction of the stored energy, compressed air is to be drawn from the storage vessel, heated, then expanded via high-pressure turbine that captures some of the compressed air energy and then mixed with fuel and combusted, with the exhaust expanded through a lowpressure gas turbine connected to an electrical generator. Main disadvantages of CAES are its reliance on fossil fuels and the need for an underground cavern (could be overcome if there is available closed mine. Some alternative configurations for CAES have been proposed: use of certain above-ground vessels, new turbine designs to reduce fossil fuel use, or heat recovery - use of the of compression heat and exclude need for fuel use.

Thermal energy storage (TES) stocks thermal energy by heating or cooling a storage medium and when necessary the stored energy can be used for heating and cooling applications and power generation (comprehensive review is given in /3/). TES is TES systems particularly those linked to heat pumps and their use of the Underground Thermal Energy (UTE) are used on large scale in buildings, neighborhoods, in industrial processes and district heating and cooling of cities. Technical schemes and principles of TES methods, design and construction as well as calculation of relevant TES capacities and dynamics are well known for both Sensible and Latent (associated with PCM (Phase-Change Materials) heat storage technologies and systems. These systems are in use in solar thermal and PV powered heat pump heating/cooling of buildings and sanitary water heating, diverse types of other heat-pump systems, concentrating solar power plants as well as thermo-chemical storage.

This short review of PHS, CAES and TES energy storage systems technologies, and by specific configurations outlined special needs, can help us to illuminate and recognize potential advantages of a energy/ecology/technologies/mix combining use of available underground spaces of closed old mines in the frame of prospective environmental rehabilitation in synergy with large scale RES utilization development and growth.

Naturally this conclusion is valid for regions reach on fossil and mineral resources and history of extensive and intensive mining and taken as an introductory conclusion it deserves our special attention and could be one of the crucial R&D and commercialization topics to achieve task – entitling this paper not only in Serbia and Romania but globally at-large.

3. Resources Exhaustion, Closing Mines and Ecological Rehabilitation Needs

Closing mines in Romania where mining is dating back to 100 years B.C.E (/5/,/6/) is focusing mainly mines of ores which over time became exhausted, and therefore become non-profitable to operate. As the best option for the State was determined to be their ecological rehabilitation and closure in accordance with responsibilities established by Romanian laws, and providing an assurance with the reference to the project sustainability to all stakeholders concerned. Based on this program more than 450 mines was planned to be closed in Romania over 10 years, with a financial provision of approximately US \$400 million.

Study /7/ task was mapping and forming GIS databases of the mineral deposits and mining districts of Serbia. It was carried out within the joint project of a French Gov. aid and Republic of Serbia's Ministry of Mining and Energy. Study result are mineral deposits and mining districts databases constructed under Microsoft Access. Its "Ore deposit" database /7/ contains 199 records that include among other: geological data (typology, morphology, age and type of mineralization and host rock, mineralogical composition of the ore, gangue and hydrothermal alteration); economic data (mine status, type of development, former production, status of resources and reserves); data concerning environmental hazards likely to be generated by the deposit; a list of the deposits located within the district; the main primary and secondary ore minerals

(commodities or substances) present, each annotated with an assessment of the contained metal weight so as to enable an evaluation of the district's economic importance, the age of the mineralization and host rocks; a comment on the potential environmental releases and damage associated with the relevant mining and mineral-processing industry; mineral deposits and mining districts of Serbia with the compilation map and GIS databases including Serbia's Kosovo-Metohija Pliocene Basin containing the largest exploitable reserves of lignite in Europe and also Serbian copper mining in the Timoc District and lead-zinc mines in the Kopaonik District. Moreover, in Serbia, this province appears to have been underexplored for gold, particularly with the availability of modern exploration tools and procedures suited to the country's geology and morphology.

Study /8/ done as joint Romanian and Serbian investigation addresses important topics and is to be shortly reviewed also. It analyzes the impacts of mining activities on sustainable land management in Serbian and Romanian mining areas focusing main challenges for the management related to legislation issues, particular their relevance to land disturbance, mine waste management and land reclamation, as well as access to land for purpose of mining, transfer of mining royalties and broader partnerships (mining industry, governments, communities, civil societies for sustainable mining, etc.). Although, both governments are willing to provide the adequate role to mining in strengthening the national economies, they face numerous constraints. Study final concluding statement in /8/ “Sustainable mining practices and consistent implementation of the mining for the closure planning approach, within an improved legislative framework and in cooperation with stakeholders at all levels, create conditions for the development of creative, profitable, environmentally-sound, socially-responsible management and reuse of mine lands”.

These documents (Romanian and Serbian) and plenty other, can provide a basis for founding, investigating, developing, promoting and aiding in the restructuring and development of a NEW Program RES integrated energy/mining/ecology sector to provide multidimensionally enhanced sustainable development approach.

4. Potential of Abandoned Mines for Energy Storage and Land Re-cultivation

Mining-energy-industrial system in Kosovo Basin (/9/, /13/) can serve as one case example of large lignite basin's most important aspects of the structural changes caused by the mining exploitation: consumption of large areas of land, degradation of eco-systems; people migration and changes in the pattern of settlements/villages; potential high level of environment pollution (air, water, land and living species) from the industrial complex (/9/, /13/). Development of the Mining-energy-industrial system in Kosovo basin have accelerated the socio-economic transformations (urbanisation, deagrarisation) and caused the changes in the location and functions of town centers /13/. Finally, the surface mining exploitation and the building and functioning of thermal energy and other systems for coal processing represent a major structural change which requires unique and specific approaches to planning in large lignite basins.

Sustainable mining and consistent implementation of the mine closure planning approach require a developed mutual partnership of mining companies, spatial planners, investors, institutions and local communities to identify creative, profitable, environmentally sound and socially-responsible management and reuse of mine lands /8/.

Transnational and cross-border cooperation between countries in the Danube River Basin is extremely important /8/, bearing in mind the transnational risks of large mining environmental hotspots in both countries which need ecological rehabilitation (accident of the cyanide spill into the river Tisa from the gold mines in northern Romania in 2000) left behind long-term consequences for the ecosystems in Romania, Hungary and Serbia /8/.

On fig's is given map of Serbia with legend of main mines for energy, metallic and non-metallic mineral resources (Prof. Dr. S.Vujić, Mines Institute Belgrade).

Abandoned mines (where mining activities occurred, but acceptable mine closure/reclamation did not take place or was incomplete) contribute to the legacy of environmental degradation left by historic mining which occurred before mine closure regulations were founded. In Canada regulators have initiated various programs to assess and remediate the abandoned mines within their jurisdictions.

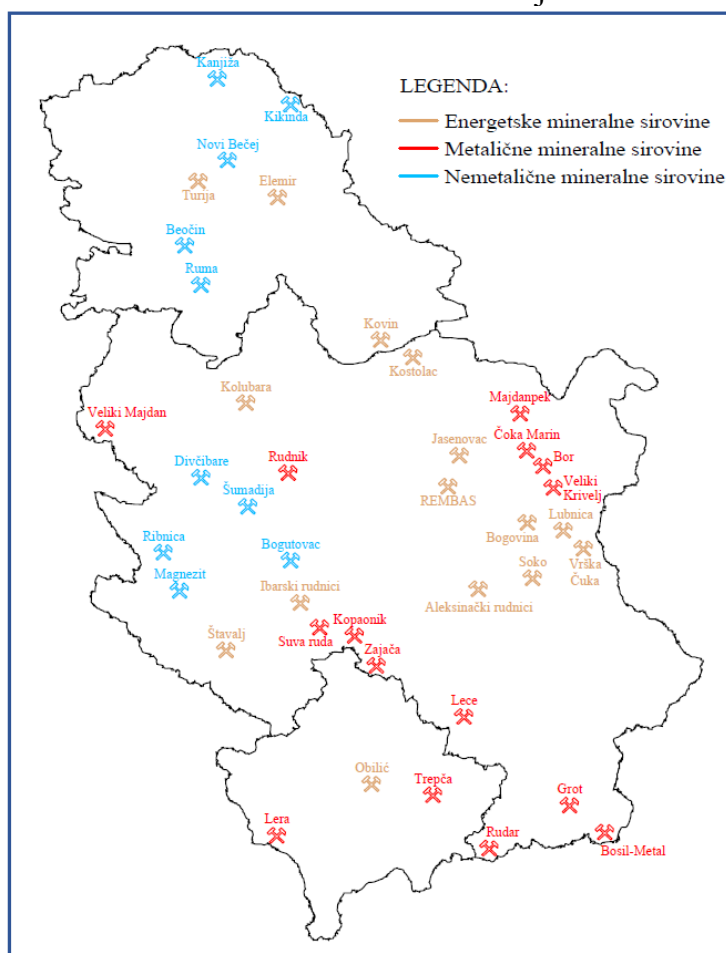


Fig.1. Energy, non-metallic and metallic mineral mines

Study /12/ presents the development of a WebGIS application aimed at providing safe and reliable data needed for recultivation of abandoned mines in national parks and other protected areas in Vojvodina in compliance with existing legal regulations. The WebGIS application was developed and is publicly available, based on an appropriate central database, which for the first time encompasses all available data on abandoned mines in Vojvodina, and as such may serve as a model for similar databases on the territory of the Republic of Serbia. The Cadastre of Abandoned Mines in the territory of AP Vojvodina which was presented in 2015, provides information about the state of 217 abandoned mines.

It is the first such project implemented in Serbia Paper entitled “Heat-Storage in Deep Hard Coal Mining Infrastructures” /19/ presents German project aimed to develop heat storing technologies in the subsurface infrastructure of hard coal mines. By end of 2018 the last productive deep hard coal mine in Germany - Prosper Haniel – in the Ruhr-Area will be closed down as the last one of more than hundred already closed coal mines in the industrial heart of Germany with more than 6 Mio inhabitants in area of 50 cities.

Due to the large mine area dimensions of tens of km² per mine, depths of max. 1.500m at rock temperatures up to 50°C the mines have the potential to become an enormous geothermal reservoir for seasonal heat storage. Paper presents fine review of project details: investigation of the technologies of thermal reuse of underground mines (open and closed loop geothermal extraction systems in coal mines), types of underground TES (UTES), technical criteria for the realization of seasonal heat storage in mine, identification and accessibility of adequate mining infrastructure, geometry and orientation of the storage, open- and closed-loop systems, adequate storage media, safety of the cross-section stability, tightness of the storage system, technical examination of the heat storage & exchanger systems materials, etc. Due to the large mine area dimensions of tens of km² per mine, depths of max. 1.500m at rock temperatures up to 50°C the mines have the potential to become an enormous geothermal reservoir for seasonal heat storage.

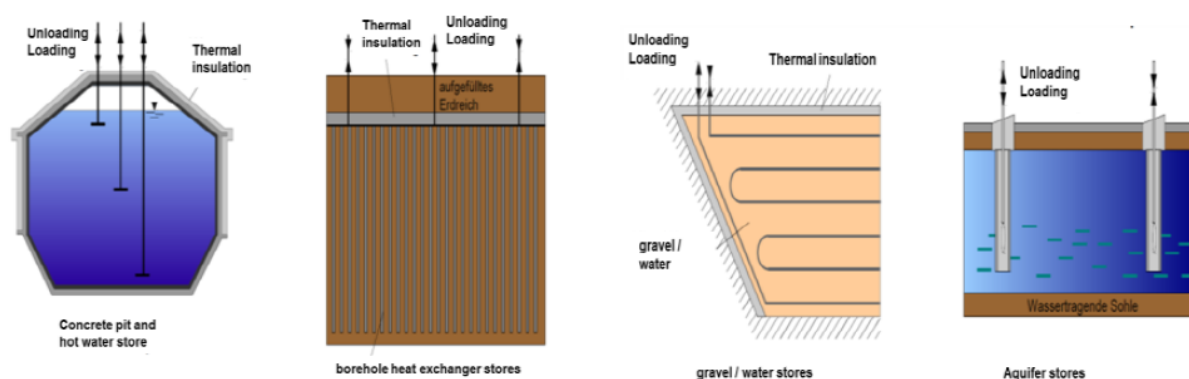


Fig.2. Underground thermal energy storage concepts

Paper presents further fine review of project details: investigation of the technologies of thermal reuse of underground mines (open and closed loop geothermal extraction systems in coal mines), types of underground TES (UTES), technical criteria

for the realization of seasonal heat storage in mine, identification and accessibility of adequate mining infrastructure, geometry and orientation of the storage, open- and closed-loop systems, adequate storage media, safety of the cross-section stability, tightness of the storage system, technical examination of the heat storage & exchanger systems materials, etc.

Canadian challenging experience in utilization of abandoned mine workings for TES started in 1989 /18/ when the Town of Springhill created an industrial park and offered to companies to tap into the geothermal energy supply from the local abandoned coal mines. The mines are estimated to have an energy potential in excess of 67,000 MWh/yr, and a study of former gold mines in Timmins found that the mines had a potential energy resource of at least 28,000 MWh/yr /18/. A simple methodology for the Geothermal Energy Potential of Abandoned Underground Coal Mines is given in /20/.

Zbigniew Malolepszy and group of authors in papers (/11/, /14/, /22/) presented reach Polish experience in: geothermal resources of former coal mine Nowa Ruda, low temperature man made geothermal reservoirs in abandoned workings of underground mines and modelling of geothermal resources within abandoned coal mines.

Study /10/ reviews factors affecting the feasibility of geothermal systems on mining projects and has identified the possible configurations of geothermal systems suitable for the exploration, operational and closure phases of mine development. The geothermal opportunities associated with abandoned or legacy mines are also discussed, as well as the potential categories of heat reservoirs associated with mine sites: natural ground; backfilled workings; mine waste; dewatering pumping; and flooded workings/pit lakes.

Flooded coal mine in the Upper Silesian coal basin constitutes a reservoir of low enthalpy geothermal water at a temperature of 20-50°C, depending on depth. In order to extract and utilize the heat stored in the reservoir, the water must be drawn from the mine.

After the heat has been extracted the water must then be reinjected into the reservoir because of its high mineral content. Another method is to extract the heat energy by a system of loop heat exchangers installed within the mine itself /14/.

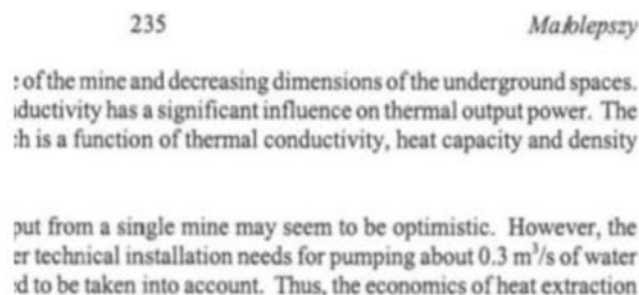


Fig. 3. Three simplified schemes for the extraction of geothermal energy from abandoned coal mine /14/

5. Cavern Storage And More Construction Details On The Abandoned Mines Utilization

Till now, very little use has been made of the energy store that relies on large caverns in the rock which are suitable for storing water at high temperature (40 to 90°C). Construction of such caverns is relatively expensive if it is not possible to convert already existing caverns (e.g. used for oil storage). Main problems are heat losses caused by circulation of the warm water in fissures located outside the storage cavern.

As a rule, abandoned mines fill up with water which can also be used for thermal energy storage. In contrast to the cavern stores the geometry is not optimized towards achieving a small surface area, as mines are characterized mostly as widely branching systems of tunnels/galleries. Consequently, mines are suited best for TES close to the natural ambient temperature of the subsurface (examples are from Canada). Higher-temperature TES can be constructed in deeper mines with related higher rock temperatures. Attention deserve also near-natural underground thermal energy storage systems that constitute a hybrid form between a natural UTES system and an artificially constructed store.

Fundamental structural principle is important in these types of thermal stores, as the subsurface is not directly used to store heat; instead, the storage medium consists of a mixture of gravel or earth and water. The storage systems can consist of a pit that has been sealed by suitable means and that is filled with the storage medium.

It is advantageous that, compared with a pure water storage system, no load-bearing roof-structure is required, and this keeps the construction costs down. As a rule the stores are thermally insulated laterally and at the top, sometimes also at the bottom, depending on the volume and depth of the store. The insulation material must possess adequate compressive strength for this application.

Thermal energy is generally charged into the store and withdrawn from it again indirectly via embedded plastic pipe loops.

Therefore, it is also possible to use as the heat transfer medium mixtures of anti-freeze which permit operation below 0 ° C. In addition to storing heat at a high temperature level, it is thus also possible to operate the system in combined heat and cold storage mode, using a heat pump.

6. Instead Of Conclusions – Old Cole Mines Can Be Part of Green Energy Future

German government's ambitious goal is to transform their energy landscape over the next few decades: by 2025 to have 35-40% of electricity to come from RES; by 2035 55-60%, and by 2050 to hit at least 80% RES, coupled with an overall reduction in energy consumption of 25% (compared to 2008). To realize these goals a huge investment in wind and solar energy generation is necessary, as well as a step up in their use of hydropower, as well as improvement of overall efficiency of natural gas power plants.

Early signs are encouraging, particularly in terms of their energy mix (in 2015, RES reached 32.5% of Germany's total electricity demand. It was reported in Quartz at the time, that there was too much electricity available, "Power prices actually went negative for several hours, meaning commercial customers were being paid to consume electricity". As China now is taking a leading role in the fight against climate change, the prices of renewables are likely to drop further.

The main argument laid against renewable energy generation is that it is often intermittent and this doesn't really match with way the traditional electricity grid operates. To have balance between the supply and demand, and keep distribution system stable, when RES technologies enter into the grid, the only real option is to store the energy when it's produced, and then send it back to the grid when it's needed. And it is energy storage that old coal and mines could play a major role.

As final comments can be outlined: as fossil energy resources are closer to their exhaustion, global warming in raise, and more catastrophic weather extremes are occurring worldwide, there are more and more warnings that the risks to the Earth humanity survival are also in growth. The Earth/humanity as a whole is becoming more complex system than ever. Trying to find a way to make a turn from the current one-way irreversibility to sustainability, in addition to the uninterrupted R&D aimed to advance RES (Renewable Energy Sources) technologies it is necessary to find innovative ways of universal schemes, quantities, indicators and criteria relevant for the sustainable Earth resources utilization, environment protection and/or already damaged environment recovery) to reach humanity's resilience and sustainability. Availability of most types of RES is interruptible and of variable intensity. Therefore, energy storage is important for the large-scale utilization of RES, and large-scale storage systems require large storage volumes. Worldwide, many abandoned mines (of coal or minerals) offer large storage volumes almost readymade to be used directly for energy storage.

References:

- [1]. Jeong Tai Kim, Marija S. Todorovic, Towards Sustainability Index For Healthy Buildings - Via Intrinsic Thermodynamics, Green Accounting And Harmony, Energy and Buildings 62 (2013) 627–637.
- [2]. Denholm, P., Ela, E., Kirby, B., and Milligan, M. Role of Energy Storage with Renewable Electricity Generation. United States: Technical Report NREL/TP-6A2-47187 January 2010, N. p., 2010. Web.doi:10.2172/972169.
- [3]. Ioan Sarbu and Calin Sebarchievici, A Comprehensive Review of Thermal Energy Storage, Sustainability 2018, 10, 191;doi:10.3390/su10010191.
- [4]. Estanislao Pujades, Philippe Orban, Sarah Bodeux, Pierre Archambeau, Sébastien Erpicum, Alain Dassargues, Underground pumped storage hydropower plants using open pit mines: How do groundwater exchanges influence the efficiency?, Applied Energy 190 (2017) 135–146.
- [5]. Bianca Cobârzan, Environmental Rehabilitation Of Closed Mines. A Case Study On Romania, Transylvanian Review of Administrative Sciences, 22E/2008 pp. 34-43.
- [6]. Florea Gabrian, C. and Turdean, N., Closing The Mines In Romania -439 A New Challenge, www.infomine.com/library/publications/docs/Florea.pdf.
- [7]. J. Monthel, P. Vadala, J.M. Leistel, F. Cottard with the collaboration of M. Ilic, A. Strumberger, R. Tosovic, A. Stepanovic, Mineral Deposits And Mining Districts Of Serbia Compilation Map And GIS Databases, BRGM/RC-51448-FR, 67 p., 1 CD-rom, 2002.

- [8]. Vesna Popović, Jelena Živanović Miljković, Jonel Subic, Andrei Jean-Vasile, Nedelcu Adrian and Eugen Nicolăescu, Sustainable Land Management in Mining Areas in Serbia and Romania, Sustainability 7, 11857-11877; doi:10.3390/su70911857, 2015.
- [9]. Ivica Ristović, Milan Stojaković And Milivoj Vulić, Recultivation And Sustainable Development Of Coal Mining In Kolubara Basin, http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0354-9836/2010%20OnLine-First/0354-98361000002_R.pdf.
- [10]. Paul L. Younger, Can You Take The Heat? – Geothermal Energy In Mining, Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology June 2014.
- [11]. Zbigniew Malolepszy, Geothermal resources of former coal mine Nowa Ruda, Poland, www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/EGC/szeged/P-9-04.pdf.
- [12]. Ranka Stanković, Nikola Vulović, Nikola Lilić, Ivan Obradović, Radule Tošović, Milica Pešić-Georgiadis, WebGIS Cadastre of Abandoned Mines in Autonomous Province of Vojvodina, Mining And Environmental Protection, 2015.
- [13]. Nenad Spasić, Miodrag Vujošević, Omiljena Dželebdžić, Sustainability in the Use of Natural Resources and Spatial Development - Monograph, Institute of Architecture and Urban & Spatial Planning of Serbia, Belgrade, 2007.
- [14]. Zbigniew Malolepszy, Modelling Of Geothermal Resources Within Abandoned Coal Mines, Upper Silesia, Poland, The United Nations University, Reports 1998, Number 8.
- [15]. Marko Ban, Goran Krajačić, Marino Grozdek, Tonko Curko, Neven Duić, The Role Of Cool Thermal Energy Storage (CTES) In The Integration Of Renewable Energy Sources (RES) And Peak Load Reduction, Energy 48 (2012) 108e117.
- [16]. Jurgen Reinert, CTO and COO SMA Solar Technology AG & Jochen Schneider, EVP Energy Services SMA Solar Technology AG, Digital Solar & Storage - A Future Energy System, EES International The Electric Energy Storage, 10/06/2017.440
- [17]. Jan Martin Nordbotten, Analytical Solutions For Aquifer Thermal Energy Storage, AGU, Water Resources Research 10.1002/2016WR019524.
- [18]. F.A. Michel, Utilization Of Abandoned Mine Workings For Thermal Energy Storage In Canada, [https://talon.stockton.edu/eyos/energy_studies/content/docs/effstock09/Session_11_1_Case%20studies Overviews/105.pdf](https://talon.stockton.edu/eyos/energy_studies/content/docs/effstock09/Session_11_1_Case%20studies%20Overviews/105.pdf).
- [19]. Rolf Bracke, Gregor Bussmann, Heat-Storage in Deep Hard Coal Mining Infrastructures, Proceedings World Geothermal Congress 2015 Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.
- [20]. Rafael Rodríguez Díez, María B. Díaz-Aguado, Estimating Limits for the Geothermal Energy Potential of Abandoned Underground CoalMines: A Simple Methodology, Energies 2014, 7, 4241-4260; doi:10.3390/en7074241.
- [21]. Javier Menéndez, Jorge Loredó, J. Manuel Fernandez, Mónica Galdo, Underground Pumped-Storage Hydro Power Plants with Mine Water in Abandoned Coal Mines, Mine Water and Circular Economy IMWA, 2017.

Surse reci autocompensate sezonier în sisteme de instalații echipate cu pompe de caldura reversibile

Seasonally self-compensated cold sources in installation systems equipped with reversible heat pumps

Andreea Baran, Ionela Cazacu, Theodor Mateescu, Razvan Luciu

Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași

Abstract:

In the paper there are presented calculation principles for the designation of "cold sources" with seasonal self-compensation.

Keywords: heat pump, seasonal storage, seasonal autocompensation

Rezumat:

In cadrul referatului sunt prezentate principii de calcul pentru dimensionarea "surselor reci" cu autocompensare sezoniera.

Cuvinte cheie: pompa de caldura, stocatoare sezoniere, autocompensare sezoniera

1. Introducere

Sistemele de instalații echipate cu pompe de caldura cu compresie mecanică de vapori sunt dependente de o sursă suplimentară de caldura cu potențial termic redus, de cele mai multe ori naturală - aer, apă, soare.

Amenajarea acestora implică costuri importante în investiția globală și adoptarea soluției este condiționată de particularitățile mediului natural, specific amplasamentului.

Având în vedere efectele și consecințele alternative produse de pompele de caldura reversibile, apare de interes exploatarea sistemelor în regim de autocompensare sezonieră, prin valorificarea caldurii rezultată la funcționarea instalației în regim de răcire.

Excedentul termic obținut în regim de vară poate fi acumulat în stocatoarea sezonieră, care înlocuiesc sursele naturale, asigurând condițiile funcționale și autonomia sistemelor echipate cu pompe de caldura.

Ca masă de stocare pot fi folosite materiale granulare, materiale cu schimbare de fază sau apă, dimensionate corespunzător și în condiții specifice de amenajare. Soluția este rezonabilă pentru sisteme cu capacități mici și mijloacele aplicate la obiective situate în amplasamente izolate.

2. Determinarea sarcinilor termice

Necesarul anual de caldura pentru încălzire/răcire în kWh/an poate fi determinat, corespunzător parametrilor climatici și specifici amplasamentului și duratei sezonelor de încălzire respectiv de răcire, cu relații de forma:

$$Q_{\text{incalzire}} = H(\theta_i - \theta_{\text{em}}) \tau_I \quad (1)$$

in care:

θ_i – temperatura interioara

θ_{em} – temperatura medie a aerului exterior pe durata seoznului

τ_I, τ_R – durata sezonului de incalzire/racier

H – transmitanta totala a caldurii, calculate cu relatia generala

$$H = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{R_i} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \sum \frac{\delta}{\lambda}} \quad (2)$$

unde:

h_i – 8 m²K/W, 6 m²K/W – pentru elemente vertical/orizontale

h_e – 22 m²K/W, 12 m²K/W – pentru elemente vertical/orizontale

Se mentioneaza ca pentru determinarea sarcinilor termice se poate utiliza si metoda “gradelor-zile”, corespunzator adaptarii fiecarei perioade de lucru.

Stabilirea duratei sezoanelor de incalzire, racire

Intersectiile curbelor de variatie ale temperaturilor medii lunare cu paralela la axa absciselor corespunzatoare temperaturii $\theta_e = \theta_{\text{emz}}$, pentru sezonul cald, delimiteaza duratele sezoanelor intersectate (fig. 1 si fig. 2).

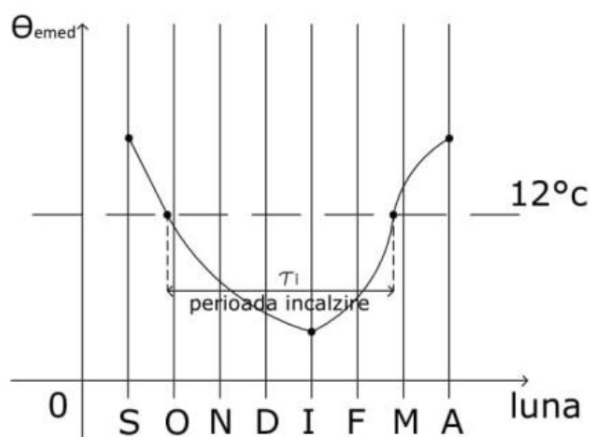


Fig. 1 – Durata sezonului de incalzire

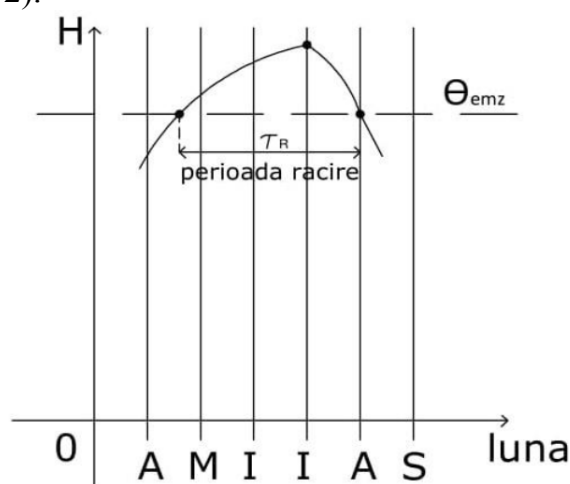


Fig. 2 – Durata sezonului de racire

Temperaturile “medii lunare” sunt considerate mediile multianuale ale temperaturilor aerului exterior înregistrate în ziua de 15 a fiecărei luni.

Temperatura “de echilibru” din sezonul de răcire reprezintă valoarea temperaturii exterioare la care aporturile de căldură (de la soare și sursele interioare) egalează pierderile (prin transmisie și ventilare) la temperatura interioară de calcul pentru climatizare și se calculează cu relația:

$$\theta_{\text{emz}} = \theta_i - \frac{\eta_i * Q_{\text{sursa}}}{H * \tau_z} \quad (3)$$

în care:

θ_i – temperatura interioară de calcul pentru climatizare

$Q_{\text{sursă}}$ – aport solar și surse interioare

H – transmitanța – conform relației (2)

τ_z – 86400 secunde – durata unei zile

$\eta_i \cong 0,65$ – factorul de utilizare a pierderilor de căldură

3. Capacitatea termică necesară pentru sursa rece

În mod concret excendentul de căldură din perioada de răcire este superior necesarului pentru încălzire.

$$Q_{\text{răcire}} > Q_{\text{încălzire}}$$

În consecință, capacitatea sursei adiționale cu potențial termic redus, în regim de autocompensare sezonieră se poate dimensiona pentru $Q_{\text{încălzire}}$.

Corespunzător coeficientului de performanță al pompelor de căldură integrate în sistem (COP), capacitatea termică a stocatorului sursei reci se determină cu relația:

$$Q_{\text{stocator}} = Q_{\text{încălzire}} \left(1 - \frac{1}{\text{COP}} \right) \quad (4)$$

În funcție de ecartul acceptat pentru valorile extreme ale temperaturii stocatorului și de parametrii fizici ai materialului folosit rezultă volumul necesar a fi amenajat:

$$V_{\text{stocator}} = \frac{Q_{\text{stocator}}}{\rho * C_p * (\theta_{\text{max}} - \theta_{\text{min}})} \quad (5)$$

Pentru temperaturile obișnuite ale agentului intermediar (apă +glicol) este recomandabil ca ecartul de temperatură adoptat ($\theta_{\text{max}} - \theta_{\text{min}}$) să nu depășească 15-20°C.

Calculul termotehnic al ansamblului se face pe baza ecuațiilor de bilanț și transfer termic specifice schimbătoarelor de căldură cu acumulare.

4. Concluzii

Utilizarea pompelor de căldură cu compresie mecanică de vapori, reversibile, pentru răcire și încălzire în sisteme locale de instalații oferă posibilitatea valorificării termice proprii în regim de autocompensare sezonieră.

Soluția elimină necesitatea surselor naturale cu potențial termic redus, conferind autonomie funcțională indiferent de particularitățile amplasamentelor.

În același timp se pot obține și beneficii de natură economică, prin controlul și atingerea performanțelor globale a sistemului.

Bibliografie:

[1] Badea, A., ș.a. – “Echipamente și instalații termice”, Ed. Tehnică București, 2003.

[2] Metodologia de calcul al performanței energetice a clădirilor. MC001-2007-aprobat prin Ordinul MTCT nr. 157/2007.

[3] SR4839 – Durata perioadei de încălzire.

[4] SR13700 – Necesarul de căldură pentru încălzirea clădirilor.

Analiza randamentelor unui sistem de cogenerare cu motoare termice cu combustie internă ca sursă primară și cazan de apă caldă ca sursă de vârf

Efficiency analysis of a CHP plant, based on reciprocating engines as prime movers and a hot water boiler as peak source

Gabriel Mărcuș, Vlad Iordache, Rodica Frunzulică, Florin Iordache

Universitatea Tehnică de Construcții București
Bd. Lacul Tei nr. 122-124, Sector 2, București
marcus_gabriell@yahoo.com

Rezumat. *Lucrarea abordează analiza variației randamentului motoarelor dintr-o centrală de cogenerare care deservește clădirile de birouri ale unui operator economic. În condițiile variației sarcinii termice anuale, motoarele termice intră sau ies pe rând din funcțiune, funcționează la capacitate nominală sau în regim de sarcină parțială. Randamentul termic al fiecărui motor se modifică în mod corespunzător cu sarcina termică solicitată determinând variația randamentului global. Randamentul electric al sistemului este de asemenea o funcție de nivelul sarcinii. Lucrarea de față prezintă un model de calcul și analiză a randamentelor motoarelor active în funcție de necesarul termic solicitat de către consumator, în relație cu trei modalități de operare. S-au întocmit graficele de funcționare în funcție de sarcina de încărcare pentru fiecare motor termic și pentru cazan și s-au trasat graficele randamentului termic total și al randamentului global în cele trei moduri de operare, cascadă, alternant și simultan.*

Cuvinte cheie: *cogenerare, motor termic, putere nominală termică, randament termic, sarcină parțială.*

Abstract. *The paper deals with the theme of the variation of the efficiency of the reciprocating engines in a cogeneration plant serving the office buildings of an economic operator. Under the conditions of yearly thermal load variation, reciprocating engines come in or out of order, operate at rated capacity or in partial load mode. The thermal efficiency changes accordingly, determining the overall efficiency variation. The electrical efficiency of the CHP is a function of the load level. The present paper presents a model for calculating and analyzing the efficiency of the active engine according to the thermal load demanded by the consumer, in relation to three modes of operation. Operating charts for each reciprocating engine as well for the boiler have been prepared, the total thermal efficiency and the total efficiency graphs were plotted in the three ways of operating modes, consecutively, alternating and simultaneously.*

Key words: *cogeneration systems, reciprocating engines, nominal power, thermal efficiency, partial load.*

Notații și simboluri:			
CZ	cazan termic	$Q_{th,cons}$	sarcina termică cerută de consumator (kW)
i	numărul de ordine al motorului termic	$q_{CZ,nom}$	putere termică nominală a cazanului 1 sau 2 (kW)
M_i	motor termic "i" (cu i de la 1 la 5)	$q_{el,nom}$	putere electrică nominală motor (kW)
PL	sarcina parțială de funcționare a motorului/cazanului (%)	$q_{th,nom}$	putere termică nominală motor (kW)
P_{elU}	putere electrică utilă data de motor (kW)	$\eta_{el,nom}$	randament electric nominal (%)
P_{thU}	putere termică utilă data de motor (kW)	$\eta_{el,PL}$	randament electric la sarcină parțială (%)
PI	putere primară introdusă de combustibil (kW)	$\eta_{th,nom}$	randament termic nominal (%)
PP	putere pierdută de motor/cazan/sistem (kW)	$\eta_{th,PL}$	randament termic la sarcină parțială (%)
PU	putere totală utilă, electrică+termică, motor/cazan/sistem (kW)	η_{CZ}	randament termic cazan (%)
		$\eta_{th,total}$	randament termic total al sistemului (%)
		η_{global}	randament global al sistemului (%)

1. Introducere

Cogenerarea, tehnologie de producere simultană a energiei termice și a energiei electrice, este o alternativă la sistemele clasice de producție separată a celor două forme de energie prin care randamentul global, termic+electric, poate ajunge la 85% față de 58% în sistemele classic [1], se reduc pierderile pe rețelele de transport prin construirea sistemului în apropierea locului de consum și se obține reducerea emisiilor de noxe în mod implicit odată cu reducerea consumului de combustibil [2]. În scopul unei funcționări eficiente a sistemului de cogenerare necesarul de energie termică și electrică trebuie să fie unul important, cele două forme de energie trebuie să coexiste minim 4500 h/an într-un raport ce nu are fluctuații mai mari de $\pm 10\%$ [3].

Motoarele termice, ca sursă primară de producere a energiei termice și a energiei electrice, funcționează bine în regim de încărcare parțială, regim de funcționare majoritar întâlnit în practică, și au răspuns rapid la variațiile sarcinii provocate de comportamentul consumatorului [4], [5]. La funcționarea în regim de sarcină parțială motoarele termice funcționează bine, fără modificarea semnificativă a randamentului, până la 50% din capacitatea nominală, sub această limită fiind interzisă funcționarea în specificațiile tehnice ale furnizorilor.

În practica curentă, funcționarea unui sistem de cogenerare se poate realiza în trei moduri de operare: modul 1 în care motoarele intră în funcțiune în cascadă, pe rând și rămân în funcțiune la sarcină nominală (100%) odată atinsă această limită, modul 2 în care motoarele funcționează alternant cu cazanul termic la aceeași sarcină de încărcare, în orice moment și modul 3 în care motoarele funcționează simultan, descărcând în mod egal orice sarcină termică ce depășește ca valoare 50% din capacitatea nominală a unui motor, fără intervenția cazanului.

În cadrul analizei din lucrarea de față s-a urmărit: prezentarea unui sistem de cogenerare cu motoare termice, metoda de calcul a randamentelor la sarcini parțiale, prezentarea celor trei moduri de operare posibile, analiza comparativă din punct de vedere energetic a randamentelor sistemului în cele trei moduri de operare. În finalul studiului sunt prezentate concluzii asupra modului de intrare în sarcină a motoarelor

Analiza randamentelor unui sistem de cogenerare cu motoare termice cu combustie internă ca sursă primară și cazan de apă caldă

termice din cadrul sistemului de cogenerare propus. Rezultatele prezentului studiu pot servi deciziei implementării și alegerii unui sistem de cogenerare similar.

2. Metodă

Modelul de calcul este bazat pe ecuația Sanaye S. și colab. [6] a randamentului termic la sarcină parțială, pe ecuația ASHRAE, 2008 [7] a variației randamentului generatorului electric și pe metodele de calcul a cerințelor energetice și a randamentelor sistemelor din SR EN 15316 [8]. Aprecierile temporale din studiul de față sunt făcute în ipoteza sensului crescător al sarcinii (puterii) termice solicitate de către consumator.

Sistemul de cogenerare studiat are ca sursă primară de producere a energiei 5 motoare termice cu combustie internă echipate cu generatoare electrice și cazan de apă caldă pentru acoperirea sarcinii de vârf și a fracțiilor de sarcină. Schema fluxurilor energetice ale sistemului considerat este prezentată în Fig. 1. Randamentul termic al fiecărui motor și al cazanului este analizat în ipoteza creșterii cu ecart de 1kW a puterii termice cerute de consumator. Randamentul termic al motoarelor la funcționarea în sarcină parțială este calculat cu ecuația Sanaye S. și colab., randamentul electric este calculat cu ecuația ASHRAE 2008 iar puterea electrică utilă este calculată conform standardului SR EN 15316 și raportului tehnic corespondent [9].

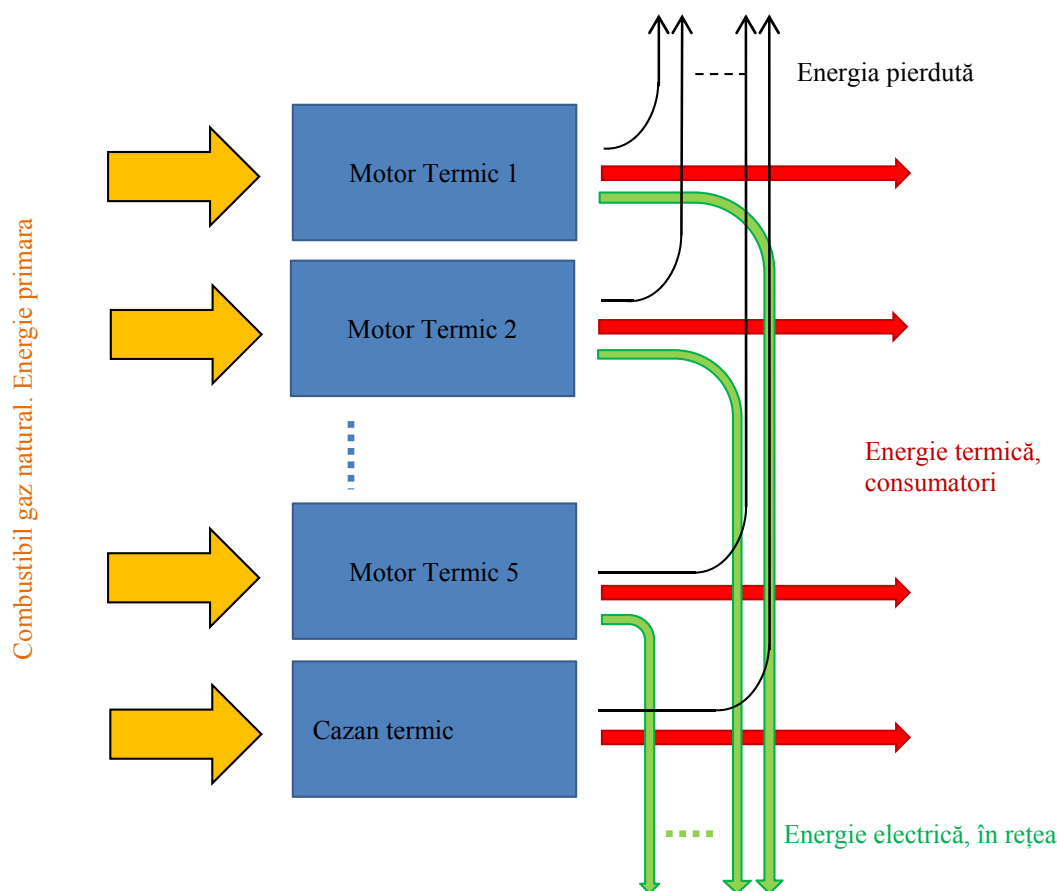


Fig. 1. Schema fluxurilor energetice în sistemul de cogenerare.

Primul mod de operare, în cascadă, presupune intrarea consecutivă în funcțiune a motoarelor termice în ordinea: M1, M2, M3, M4 și M5, pe măsura creșterii sarcinii cerute de consumator. Motoarele funcționează de la sarcini parțiale de 50% până la 100%, după care rămân în funcțiune la capacitatea nominală. Cazanul acoperă pe rând fracțiile de sarcină între 1% și 50% până la pornirea următorului motor.

Al doilea mod de operare, alternant, presupune intrarea consecutivă în funcțiune a motoarelor termice, similar modului 1, dar redistribuirea sarcinii consumatorului în mod egal între motoare la fiecare nouă intrare a unui motor. Practic, la solicitarea din partea consumatorului a unei sarcini termice de valoare egală cu 1,5 sarcini nominale în modul 1 va mai funcționa motorul M1 la capacitate 100% și motorul 2 la 50% iar în modul 2 vor funcționa ambele motoare la 75% din capacitate. În modul 2, similar modului 1, cazanul termic acoperă pe rând fracțiile de sarcină între 1% și 50% până la pornirea următorului motor. În modul 2 motoarele aflate în funcțiune operează în orice moment la aceeași sarcină parțială și ating sarcina nominală concomitent.

Al treilea mod de operare presupune ca odată intrat în funcțiune motorul M1 orice valoare superioară a sarcinii termice, ulterior apărută, să fie distribuită egal la numărul minim posibil de motoare termice, cu respectarea condiției privind minimul de 50% capacitate de funcționare, fără utilizarea cazanului termic. Practic, dacă în modurile 1 și 2 de operare, la o sarcină termică cuprinsă ca valoare numerică în intervalul deschis ($q_{th,nom}$, $1,5 \times q_{th,nom}$) intră în funcțiune cazanul termic, în modul 3 de operare această valoare a sarcinii se va distribui în mod egal motoarelor M1 și M2, funcționând fiecare la sarcini parțiale egale, între 50% (pentru $q_{th,nom}$) și 75% (pentru $1,5 \times q_{th,nom}$). Toate intervalele fracțiilor de sarcină acoperite de cazan în modurile 1 și 2 (între 1% și 50% până la pornirea următorului motor) sunt rezolvate în modul 3 prin augmentarea cu un motor a numărului de motoare în funcțiune și distribuirea egală a sarcinii.

Cele 5 motoare tip MWM TCG 2020 sunt alimentate cu gaz natural, au puterea termică nominală, $q_{th,nom}$, 1675kW, au un randament termic nominal, $\eta_{th,nom}$, 45,7%. Puterea electrică nominală, $q_{el,nom}$, ce poate fi furnizată de un astfel de motor este 1500 kW, cu un randament electric nominal, $\eta_{el,nom}$, 40,9%. Randamentul global al motorului termic (electric+termic) este 86,6%. Motoarele pot funcționa la orice capacitate de încărcare între 50% și 100% din capacitatea lor nominală fără ca randamentul motorului să fie afectat semnificativ. Producătorii motoarelor termice pentru cogenerare nu recomandă funcționarea acestor echipamente sub 50% din capacitatea nominală. La o cerere de putere termică din partea consumatorului situată sub 50% din capacitatea nominală, motorul este oprit iar sarcina este preluată de cazanul termic de apă caldă.

Modul 1 de operare - funcționare în cascadă

Cazanul de apă caldă de joasă presiune, alimentat cu gaz natural, are puterea termică nominală 850 kW, cu o variație a randamentului între 93,8% și 95,8%. Cazanul va asigura toate fracțiile de 837,5kW până la intrarea în funcțiune a motorului următor (cazul cererii crescătoare de putere termică).

Sarcina parțială a unui motor "i" se calculează în procente doar pentru sarcinile termice mai mari decât 50% din capacitatea nominală a motorului, conform Ecuației (1). Randamentul termic la sarcină parțială a motorului "i" se calculează funcție de sarcina parțială, conform Ecuației (2) [1]. Puterea utilă termică furnizată rezultă ca produsul dintre sarcina termică parțială și randamentul termic, Ecuația (3). Randamentul electric la sarcină parțială a motorului "i", definit pe conturul generatorului electric, se calculează conform Ecuației (4) [2]. Randamentul electric nominal, $\eta_{el,nom}$, dat în fișa producătorului de motoare oferă valoarea randamentului electric pe conturul mai larg al întregului echipament, motor + generator. Astfel, randamentul pe generatorul electric dat de Ecuația (4) are valoarea maximă, $MAX(\eta_{elPL})$, 91,13% la atingerea capacității nominale când motorul produce, conform producătorului, 1500 kW electrici utili, cu un randament electric pe conturul întregului echipament de 40,9%. Puterea electrică utilă furnizată de fiecare motor se calculează cu Ecuația (5), prin interpolare liniară din sarcina electrică nominală, $q_{el,nom}$, puterea termică utilă la sarcină parțială, P_{thU} și sarcina termică nominală, $q_{th,nom}$, [8], [9]. Puterea utilă totală furnizată de fiecare motor în parte este reprezentată de însumarea puterii utile termice și electrice, conform Ecuației (6). Puterea primară introdusă prin combustibilul se calculează cu Ecuația (7). Puterea pierdută de motor prin evacuarea gazelor de ardere la coș la 120 °C și prin mantaua motorului rezultă din Ecuația (8). Sarcina de încărcare parțială a cazanului termic este descrisă de Ecuațiile (9). Randamentul termic al cazanului este considerat constant, 95,8%, până la o sarcină de încărcare de 40% și se calculează cu Ecuația (10) pentru încărcări între 40% și 100%. Puterea utilă termică a cazanului se calculează conform Ecuației (11), puterea introdusă de combustibil în cazan se calculează conform Ecuației (12) și puterea pierdută de cazan se calculează cu Ecuația (13). În final au fost calculate randamentul termic total și randamentul global (termic+electric) ale sistemului cu Ecuațiile (14) și (15).

$$PL_{M_i} = \begin{cases} 100, & \text{dacă } Q_{th,cons} \geq i \cdot q_{th,nom} \\ \frac{Q_{th,cons} - (i-1) \cdot q_{th,nom}}{q_{th,nom}} \cdot 100, & \text{dacă } (i - \frac{1}{2}) \cdot q_{th,nom} \leq Q_{th,cons} \leq i \cdot q_{th,nom} \\ OFF, & \text{dacă } Q_{th,cons} < (i - \frac{1}{2}) \cdot q_{th,nom} \end{cases} \quad (1)$$

$$\eta_{th,PL_{M_i}} = \eta_{th,nom_{M_i}} \cdot (1,07 \cdot e^{-0,0005736 \cdot PL_{M_i}} - 1,259 \cdot e^{-0,05367 \cdot PL_{M_i}}) \quad (2)$$

$$P_{thU_{M_i}} = PL_{M_i} \cdot q_{th,nom} \quad (3)$$

$$\eta_{el,PL_{M_i}} = -0,149 \cdot PL_{M_i}^2 + 0,331 \cdot PL_{M_i} + 0,7293 \quad (4)$$

$$P_{elU_{M_i}} = \frac{q_{el,nom} \cdot P_{thU_{M_i}}}{q_{th,nom}} \quad (5)$$

$$PU_{M_i} = P_{thU_{M_i}} + P_{elU_{M_i}} \quad (6)$$

$$PI_{M_i} = \frac{P_{thU_{M_i}} + P_{elU_{M_i}}}{\eta_{el,PL_{M_i}} \cdot \eta_{el,nom}} \quad (7)$$

$$PP_{M_i} = PI_{M_i} - PU_{M_i} \quad (8)$$

$$PL_{CZ} = \begin{cases} \frac{Q_{th,cons}}{q_{CZ,nom}} \cdot 100, & \text{dacă } 0 < Q_{th,cons} < \frac{1}{2} q_{th,nom} \\ OFF, & \text{dacă } \left(i - \frac{1}{2}\right) \cdot q_{th,nom} \leq Q_{th,cons} \leq i \cdot q_{th,nom} \\ \frac{Q_{th,cons} - 5 \cdot q_{th,nom}}{q_{CZ,nom}} \cdot 100, & \text{dacă } 5 \cdot q_{th,nom} < Q_{th,cons} \end{cases} \quad (9)$$

$$\eta_{CZ} = -0,033 \cdot PL_{CZ} + 0,9712 \quad (10)$$

$$PU_{CZ} = PL_{CZ} \cdot q_{CZ,nom} \quad (11)$$

$$PI_{CZ} = \frac{PU_{CZ}}{\eta_{CZ}} \quad (12)$$

$$PP_{CZ} = PI_{CZ} - PU_{CZ} \quad (13)$$

$$\eta_{th,total} = \frac{\sum_1^5 (P_{th} U_{M_i}) + PU_{CZ}}{\sum_1^5 (PI_{M_i}) + PI_{CZ}} \quad (14)$$

$$\eta_{global} = \frac{\sum_1^5 (PU_{M_i}) + PU_{CZ}}{\sum_1^5 (PI_{M_i}) + PI_{CZ}} \quad (15)$$

Modul 2 de operare – funcționare alternantă la aceleași sarcini de încărcare

În ipoteza sensului crescător al cererii de sarcină termică, cazanul de apă caldă de joasă presiune va asigura, similar modului 1, toate fracțiile de 837,5 kW până la îndeplinirea condițiilor cererii de intrare în funcțiune a unui nou motor. În acest moment sarcina cerută se va împărți egal între acest nou motor și motorul/motoarele aflate deja în funcțiune. Această metodă face ca motoarele aflate în funcțiune să funcționeze în orice moment la aceeași încărcare parțială. La atingerea sarcinii nominale, 8375 kW, concomitent la toate cele 5 motoare, va reintra în funcțiune aditional cazanul termic, până la acoperirea sarcinii de vârf în valoare de 9225 kW (pentru egalitatea intervalului de analiză).

Condițiile pentru calcularea în procente a sarcinii parțiale a fiecărui motor "i", în modul 2 de operare, sunt descrise în Ecuațiile (16):

$$PL_{M_i} = \begin{cases} OFF, & \text{dacă } Q_{th,cons} < \frac{1}{2} \cdot q_{th,nom}, & ptr.i = 1 \\ \frac{Q_{th,cons}}{i \cdot q_{th,nom}} \cdot 100, & \text{dacă } \left(i - \frac{1}{2}\right) \cdot q_{th,nom} \leq Q_{th,cons} \leq i \cdot q_{th,nom}, & ptr.i = 1 \dots 5 \\ 100, & \text{dacă } i \cdot q_{th,nom} < Q_{th,cons} < \left(i + \frac{1}{2}\right) \cdot q_{th,nom}, & ptr.i = 1 \dots 5 \\ 100, & \text{dacă } Q_{th,cons} > 5 \cdot q_{th,nom}, & ptr.i = 1 \dots 5 \end{cases} \quad (16)$$

În modul 2 de operare, randamentul termic la sarcină parțială a motorului, puterea utilă termică, randamentul electric la sarcină parțială, puterea electrică utilă,

Analiza randamentelor unui sistem de cogenerare cu motoare termice cu combustie internă ca sursă primară și cazan de apă caldă

puterea utilă totală furnizată, puterea primară introdusă de combustibilul de alimentare și puterea pierdută de motor se calculează, similar modului 1 de operare, cu Ecuațiile (2), (3), (4), (5), (6), (7) și (8). Pentru calcularea sarcinii de încărcare a cazanului termic se folosește, similar modului 1 de operare, Ecuația (9).

În modul 2 de operare, randamentul termic al cazanului, puterea utilă termică furnizată de cazan, puterea introdusă de combustibil și puterea pierdută de cazan se calculează, similar modului 1 de operare, cu Ecuațiile (10), (11), (12) și (13). În final au fost calculate, pentru modul 2 de operare, randamentul termic total și randamentul global (termic+electric) ale sistemului cu Ecuațiile (14) și (15).

Modul 3 de operare – funcționare simultană la aceleași sarcini de încărcare fără intervenția cazanului termic

În aceeași ipoteză a sensului crescător al cererii de sarcină termică, cazanul de apă caldă de joasă presiune va asigura sarcinile până la 837,5 kW când se îndeplinește condiția intrării în funcțiune a motorului M1. Din acest moment orice valoare a sarcinii termice cerută de consumator se va împărți egal la numărul minim de motoare ce o pot asigura, fără a se mai utiliza cazanul termic, iar atunci când sarcina depășește ca valoare un număr întreg multiplu al valorii sarcinii nominale se va adăuga la împărțitor motorul următor. Motoarele aflate în funcțiune operează în orice moment la aceeași încărcare parțială. La atingerea puterii termice utile maxime ce poate fi furnizată de cele 5 motoare, 8375 kW, intra în funcțiune aditional cazanul termic, până la acoperirea sarcinii de vârf în valoare de 9225 kW (pentru egalitatea intervalului de analiză).

Condițiile pentru calcularea în procente a sarcinii parțiale a fiecărui motor "i", în modul 2 de operare, sunt descrise în Ecuațiile (17):

$$PL_{M_i} = \begin{cases} OFF, & \text{dacă } Q_{th,cons} < \frac{1}{2} \cdot q_{th,nom}, & ptr.i = 1 \\ \frac{Q_{th,cons}}{i \cdot q_{th,nom}} \cdot 100, & \text{dacă } (i - \frac{1}{2}) \cdot q_{th,nom} \leq Q_{th,cons} \leq i \cdot q_{th,nom}, & ptr.i = 1 \dots 5 \\ \frac{Q_{th,cons}}{(i+k) \cdot q_{th,nom}} \cdot 100, & \text{dacă } (i+k-1) \cdot q_{th,nom} < Q_{th,cons} \leq (i+k) \cdot q_{th,nom}, \\ & \text{cu } k = 1 \dots 4, k \in \mathbb{Z}, ptr.i = 1 \\ & \text{cu } k = 1 \dots 3, k \in \mathbb{Z}, ptr.i = 2 \\ & \text{cu } k = 1, 2, k \in \mathbb{Z}, ptr.i = 3 \\ & \text{cu } k = 1, k \in \mathbb{Z}, ptr.i = 4 \\ 100, & \text{dacă } Q_{th,cons} > 5 \cdot q_{th,nom}, & ptr.i = 1 \dots 5 \end{cases} \quad (17)$$

În modul 3 de operare, randamentul termic la sarcină parțială a motorului, puterea utilă termică, randamentul electric la sarcină parțială, puterea electrică utilă, puterea utilă totală furnizată, puterea primară introdusă de combustibilul de alimentare și puterea pierdută de motor se calculează, similar modului 1 de operare, cu Ecuațiile

(2), (3), (4), (5), (6), (7) și (8). Pentru calcularea în modul 3 a sarcinii de încărcare a cazanului termic se folosește Ecuația (18).

$$PL_{CZ} = \begin{cases} \frac{Q_{th,cons}}{q_{CZ,nom}} \cdot 100, & \text{dacă } 0 < Q_{th,cons} < \frac{1}{2} q_{th,nom} \\ OFF, & \text{dacă } \frac{1}{2} q_{th,nom} \leq Q_{th,cons} \leq 5 \cdot q_{th,nom} \\ \frac{Q_{th,cons} - 5 \cdot q_{th,nom}}{q_{CZ,nom}} \cdot 100, & \text{dacă } 5 \cdot q_{th,nom} < Q_{th,cons} \end{cases} \quad (18)$$

În modul 3 de operare, randamentul termic al cazanului, puterea utilă termică furnizată de cazan, puterea introdusă de combustibil și puterea pierdută de cazan se calculează, similar modului 1 de operare, cu Ecuațiile (10), (11), (12) și (13). În final au fost calculate, pentru modul 3 de operare, randamentul termic total și randamentul global (termic+electric) ale sistemului cu Ecuațiile (14) și (15).

3. Rezultate

Analiza grafică între modul 1, 2 și 3 de operare, a rezultat din trasarea curbelor de randament pentru fiecare motor, pentru cazan și pentru sistem în ansamblu pe intervale de putere termică. Analiza valorică rezultă din observarea valorilor minime, maxime și particulare pentru fiecare kW de putere termică din calculul tabelar.

Considerând motorul 1 în modul 1 de operare, Fig. 2, acesta atinge randamentul termic maxim de 45,98% la o putere termică cerută de consumator de 1437 kW funcționând la 85,79% din capacitatea nominală. Pe măsura creșterii cererii, randamentul termic scade insesizabil, atingând în sarcină nominală valoarea de 45,90%, după care funcționează cu randament termic constant, 45,90%, până la finalul intervalului de analiză. În modul 2 de operare comportamentul motorului 1 este identic pe primele două intervale de funcționare cu modul 1 de operare. În modul 2, la intrarea în sarcină a celui de-al doilea motor, vor funcționa ambele motoare la 75% din capacitatea nominală, cu randament termic de 45,81%. În modul 3 de operare randamentul motorului 1 are comportament identic cu celelalte două moduri doar pe primul interval de funcționare iar în momentul depășirii cu 1 kW a sarcinii nominale de 1675 kW intră în funcțiune și motorul al 2-lea, sarcina împărțindu-se egal la M1 și M2 care vor funcționa fiecare la 50,03% sarcină parțială. De la o cerere de putere termică mai mare de 2650 kW până la finalul intervalului de analiză, randamentul termic al motorului 1 este mai mare în modul 2 de operare decât în modul 1 iar de la o cerere mai mare decât 4188 kW modul 3 de operare înregistrează randamente termice mai mari decât modul 2 sau cel mult egale.

Motorul 2, Fig. 2, pornește în modul 1 de operare la solicitarea unui necesar termic de 2512,5 kW, cu randament termic minim 43,59% și atinge randamentul termic maxim, 45,98%, la o cerere de 3112 kW. În modul 2 de operare, motorul 2 pornește la același necesar termic de 2512,5 kW, dar cu randament termic semnificativ mărit, 45,81% și atinge randamentul termic maxim, 45,98%, pe mai multe intervale până la finalul intervalului de analiză. Pe intervalele de funcționare la sarcină nominală

Analiza randamentelor unui sistem de cogenerare cu motoare termice cu combustie internă ca sursă primară și cazan de apă caldă

(100%) când intră și cazanul termic în funcțiune, motorul 2 are în modul 1 și în modul 2 de funcționare randamente termice egale. În modul 3 de funcționare M2 pornește la solicitarea unui necesar termic de 1676 kW, cu randament termic egal modulului 1 de operare, se comportă similar modulului 2 pe intervalul 2513÷3350 kW, înregistrează o scădere a randamentului termic pe intervalul 3350÷3946 kW, după care valorile sunt în mod alternant mai mari sau egale cu valorile înregistrate în modul 2 de operare.

Motorul 3, Fig. 2, pornește în modul 1 de operare la un necesar termic de 4187,5 kW, cu randament termic minim 43,59% și atinge randamentul termic maxim, 45,98%, la o cerere de 4787 kW. În modul 2 de operare, motorul 3 pornește la același necesar termic dar cu randament termic semnificativ mărit, 45,96% și atinge randamentul termic maxim, 45,98%, pe mai multe intervale până la finalul intervalului de analiză, corespunzătoare respectiv intrărilor în sarcină a motoarelor 4, 5. În modul 2, la momentul intrării în funcțiune a motorului 3, acesta își echilibrează sarcina parțială de funcționare cu motoarele 1 și 2 la 83,34%. Pe intervalele de funcționare la sarcină nominală (100%), când intră și cazanul termic în funcțiune, motorul 3 are în modul 1 și în modul 2 de funcționare randamente termice egale. În modul 3 de funcționare M3 pornește la solicitări mai mici, 3350 kW, cu randament termic de 45,46%, se comportă similar modulului 2 de operare pe intervalele de tipul $\left(i - \frac{1}{2}\right) \cdot q_{th,nom} \div i \cdot q_{th,nom}$ și înregistrează randamente termice mai mari decât în modul 2 pe intervalele de tipul $i \cdot q_{th,nom} \div \left(i + \frac{1}{2}\right) \cdot q_{th,nom}$.

Algoritmul de funcționare și caracteristicile de randament termic individual descrise pentru motoarele 1, 2 și 3 se păstrează și pentru motoarele 4 și 5, așa cum se poate observa în graficele din Fig. 2. Motoarele intră în funcțiune la momentul îndeplinirii condițiilor de sarcină termică pentru fiecare din ele. În modul 1, în timp ce motoarele anterior intrate, odată atinsă sarcina nominală, rămân să funcționeze la sarcini de 100%, motorul nou intrat începe funcționarea cu sarcină parțială de 50%. În modul 2, intrarea unui nou motor în funcțiune presupune echilibrarea sarcinilor parțiale, 87,51% la intrarea motorului 4 și 90,01% la intrarea celui de-al 5-lea motor. Aceste sarcini parțiale corespund unui interval al sarcinilor parțiale de funcționare, 85,79% ÷ 91,46%, în care motorul termic atinge valori maxime de randament termic, 45,98%. În modul 3 de operare motoarele intră în funcțiune mai rapid, la puteri mai mici (decalajul este egal cu valoarea unei jumătăți din valoarea sarcinii nominale, 837,5 kW), sarcinile parțiale se echilibrează la momentul intrării cu motoarele aflate deja în funcțiune și nu se mai apelează la utilizarea cazanului termic. Randamentul termic maxim, 45,98%, este atins în modul 3 de operare la sarcini parțiale din intervalul 85,77% ÷ 91,47%. Modul 2 de funcționare asigură, per total, obținerea unor randamente termice individuale superioare modulului 1 iar modul 3 asigură, privind întreaga plajă de puteri termice, intervale mai largi cu randamente termice superioare în comparație cu modul 2.

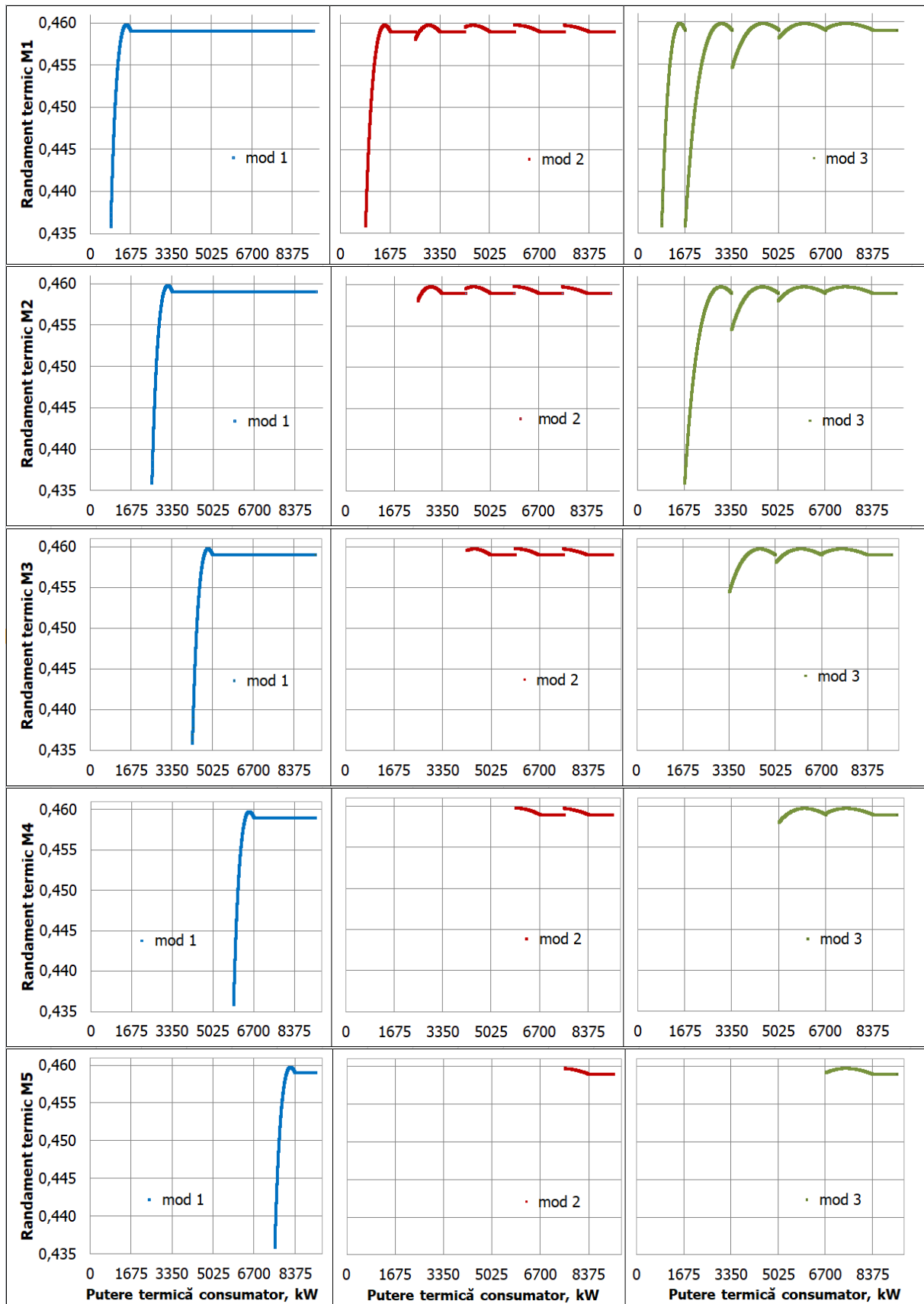


Fig. 2. Comparatia celor 3 moduri de operare din perspectiva randamentului termic individual

Analiza grafică și valorică a randamentului cazanului de apă caldă, Fig. 3, relevă pentru modurile 1 și 2 o aceeași frecvență și necesitate de utilizare a sursei de vârf pentru satisfacerea cererii maxime de energie termică. Se observă: similitudinea perioadelor de funcționare, egalitatea sarcinilor de încărcare parțială de funcționare și egalitatea valorilor de randament înregistrate. În modul 3 de operare cazanul termic nu mai este utilizat odată intrat primul motor în funcțiune. Pe primul interval de definiție al puterii termice ($0 \text{ kW} \div 837,5 \text{ kW}$), în toate modurile, cazanul funcționează solitar, motoarele termice staționează, sistemul nu produce energie electrică și nu putem vorbi de cogenerare, ca efect, în sensul strict al cuvântului.

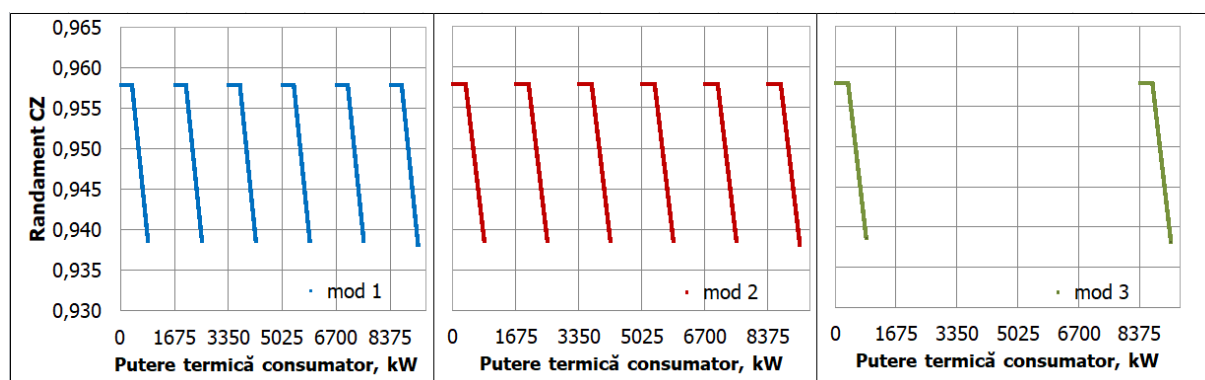


Fig. 3. Variația randamentului cazanului termic în cele 3 moduri de operare.

Randamentul termic total al sistemului de cogenerare considerat, Fig. 4, are caracteristici asemănătoare în primele două moduri de operare cu o ușoară diferență. Primul interval din cele 3 grafice corespunde perioadei de funcționare a cazanului termic, perioadă în care randamentul termic total este randamentul cazanului, evident identic în ambele moduri și fără relevanță pentru cogenerare - nu se generează putere electrică. Valorile randamentului termic total pe capetele de final ale intervalelor, când se ating sarcinile nominale de funcționare ale motoarelor (100%) sunt identice deasemenea în cele 3 moduri de operare. În modul 3 de operare, datorită neutilizării cazanului termic, randamentul termic total prezintă caracteristici aplatizate, cu valori mai mici decât valorile înregistrate în modurile 1 și 2. Diferențele, util de consemnat, dintre valorile randamentului termic total în modurile 1 și 2 apar în momentele de pornire ale motoarelor. La pornirea motorului 2 sistemul de cogenerare înregistrează în modul 2 de operare un randament termic total ușor mărit de 45,33% față de 44,93% corespunzător modului 1 de operare. La pornirea motorului 3 sistemul de cogenerare înregistrează în modul 2 de operare un randament termic total de 45,60%, mai mare față de randamentul termic total al modului 1 de operare, 45,27%. La pornirea motorului 4 sistemul de cogenerare înregistrează în modul 2 de operare un randament termic total de 45,68%, mai mare față de randamentul termic total al modului 1 de operare, 45,42%. La pornirea motorului 5 sistemul de cogenerare înregistrează în modul 2 de operare un randament termic total de 45,72%, mai mare față de randamentul termic total al modului 1 de operare, 45,79%.

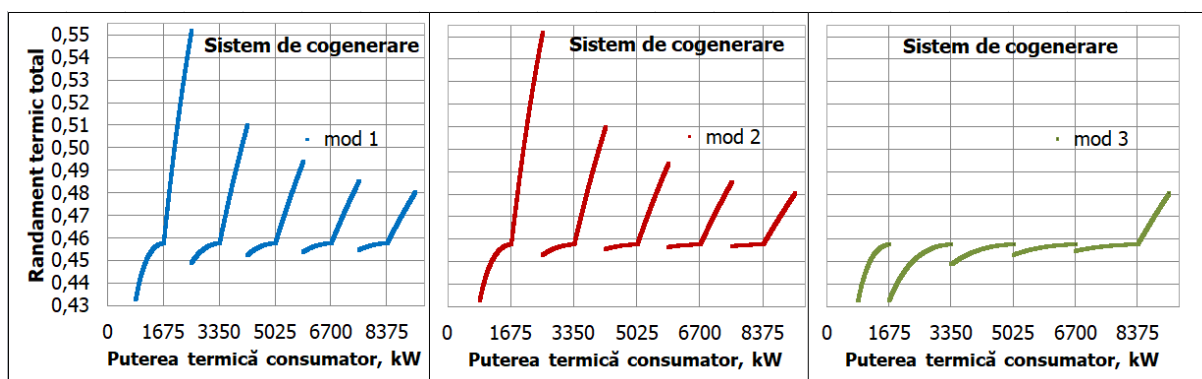


Fig. 4. Comparatia celor 3 moduri de operare din perspectiva randamentului termic total

Randamentul global, electric+termic, al sistemului de cogenerare este ilustrat de graficele din Fig. 5. Valorile maxime ale randamentului global în modurile 1 și 2 de operare, comparate pe intervale, sunt identice și se ating în capetele în care funcționează atingând sarcina nominală (100%) atât motorul cât și cazanul termic. În modul 3 de operare valorile randamentului global sunt egale cu valorile modului 2 de operare pe intervalele de tipul $\left(i - \frac{1}{2}\right) \cdot q_{th,nom} \div i \cdot q_{th,nom}$, sunt inferioare celorlalte două moduri pe intervalele de tipul $i \cdot q_{th,nom} \div \left(i + \frac{1}{2}\right) \cdot q_{th,nom}$ (corespunzătoare perioadelor de funcționare a cazanului termic) și sunt identice pe intervalul de capăt $8375 \div 9225$ kW. Diferența între modul 1 și modul 2 de operare apare între valorile randamentului global în momentele de pornire a motoarelor 2, 3, 4 și 5. Avantajul valorilor mai mari este în favoarea modului 2 de operare (85,93% față de 85,17%, 86,43% față de 85,82%, 86,59% față de 86,10% și 86,66% față de 86,25%). Pe intervalele de definiție a puterii termice corespunzătoare perioadelor de funcționare a cazanului termic caracteristicile randamentului global al sistemului de cogenerare se suprapun în modurile 1 și 2 de operare, lucru evident din moment ce motoarele aflate în funcțiune operează atât în modul 1 cât și în modul 2 la aceeași sarcină nominală, 100%, furnizând puterea termică utilă maximă fiecare (1675 kW) și puterea electrică utilă maximă fiecare (1500 kW), la care se însumează puterea utilă termică a cazanului de apă caldă (aceeași pentru fiecare dintre cele două moduri de operare, Fig. 3).

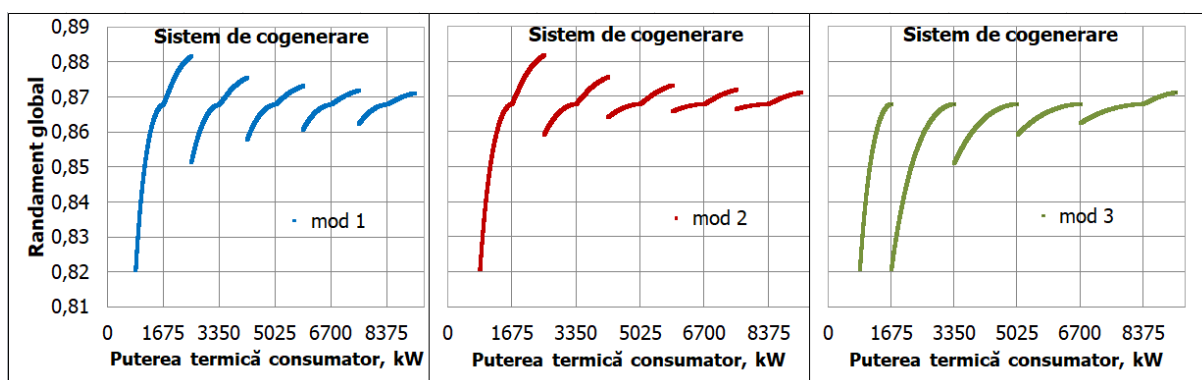


Fig. 5. Comparatia celor 3 moduri de operare din perspectiva randamentului global

6. Concluzii

Din punct de vedere al randamentelor termice individuale, analiza rezultatelor prezentate în Fig. 2 asupra motoarelor relevă o mai eficientă funcționare în cazul operării în modul 3, simultan. În modul 3 de operare motoarele ating randamentul termic individual maxim, funcționând între sarcini parțiale de la 85,77% până la 91,47%, pe mai multe intervale comparativ cu modul 1 sau pe intervale mai largi comparativ cu modul 2.

Randamentul termic total obținut de sistem, Fig. 4, prezintă valori superioare în modurile 1 și 2 de operare datorate sursei de vârf (cazanul termic de apă caldă). Modul 2 de operare alternantă înregistrează ușor avantaj datorită valorilor randamentului termic total din momentele de pornire ale motoarelor, așa cum se arată în prezentarea rezultatelor, Fig. 4. Modul 3 de operare înregistrează valori mai scăzute ale randamentului termic total datorate utilizării restricționate a cazanului termic. La sarcină de vârf cele 3 moduri de operare realizează același randament termic total.

Randamentul global al cogenerării, analizat cu Fig. 5, are valori cuprinse între 82,08% și 88,19% pentru modurile 1 și 2 de operare și între 82,08% și 87,14% pentru modul 3 (în afara intervalului $0 \div 837,5$ kW, de putere utilă electrică nulă). Din punct de vedere al randamentului global, graficele relevă situații avantajoase modurilor în cascadă și alternant. Dacă este să privim asupra valorilor maxime de pe cele 5 curbe caracteristice din fiecare dintre primele două moduri de operare observăm că randamentul global al sistemului înregistrează aceleași valori maxime. Valorile minime ale randamentului global de la începutul curbelor caracteristice fac însă diferența între modul 1 și modul 2 de operare, în favoarea modului 2 - randamente mai bune la pornire în modul 2.

Analiza randamentelor sistemului de cogenerare, realizată în amănunt pe plaja de puteri acoperită de echipamentele sursei de bază și a celei de vârf, deși a semnalat diferențe mici între valori, aduce argumente pentru operarea alternantă, recomandată în cazul unei cereri puternic variabile din partea consumatorului. Dacă cererea de putere termică a consumatorului se încadrează într-un interval stabil, bine definit, interval ce se determină în faza de proiectare întocmind curba clasată a necesarului termic al consumatorului, modul 3 de operare simultană oferă deasemenea avantaje. Utilizarea motoarelor termice, fără intervenția alternativă a cazanului, presupune mentenanță pentru un singur tip de echipament și avantajul furnizării suplimentare de energie electrică utilă. Dacă, spre exemplu, în modurile 1 și 2 la o sarcină egală ca valoare cu $1,4 \cdot q_{th,nom}$ vom avea putere electrică utilă dată doar de motorul 1 funcționând la sarcina nominală (100%), adică 1500 kW electrici, în modul 3 vom avea 2100 kW electrici utili, furnizați de motoarele M1 și M2 funcționând fiecare la sarcini parțiale de 70%. Prin urmare, din perspectiva consumatorului ce pune accent pe energia utilă electrică, modul 3 de operare este cel mai avantajos. Adoptarea unuia sau a altuia dintre modurile de operare se va face cu ajutorul modelului descris în strânsă corelație cu necesarul de consum, atât termic cât și electric, al beneficiarului. Totodată modelul numeric poate fi extrapolat pe sisteme de cogenerare alcătuite din mai multe motoare termice sau cu alte caracteristici tehnice.

Creșterea randamentului global al unui sistem de cogenerare cu unul-două procente poate însemna, în condițiile unui necesar termic și electric important, de ordinul megawattilor, o economie de combustibil considerabilă. Justa apreciere a economiilor de energie primară ce pot fi realizate se face prin considerarea producției și a consumurilor energetice pe perioada unui an de funcționare. Eficientizarea într-o și mai mare măsură a modului de obținere și folosire a energiei termice și electrice se poate face prin implementarea tehnologiei de trigenerare, respectiv prin adăugarea în sistem a chillerelor cu absorbție, măsură propusă pentru o lucrare viitoare.

Referințe

- [1] *EDUCOGEN Tool* - „The European Educational Tool on Cogeneration”, Second Edition, December 2001.
- [2] *K. F. Fong, C. K. Lee*, „Performance analysis of internal-combustion-engine primed trigeneration system for use in high-rise buildings in Hong Kong”, 12 December 2014.
- [3] *Rodica Frunzulică*, „Cogenerare de mică putere”, București, CONSPRESS 2009.
- [4] *Javier Galvan Villamarin*, „Simulation of Tri-generation Systems with application of optimization”, 2011, Master of Science Thesis EGI 2011-120MSC, KTH Industrial Engineering and Management.
- [5] *Houssein Al Moussawi, Farouk Fardoun, Hasna Louahlia-Gualous*, „Review of tri-generation technologies: Design evaluation, optimization, decision-making, and selection approach”, 30 April 2016.
- [6] *Sepehr Sanaye, Mehdi Aghaei Meybodi, Shahabeddin Shokrollahi*, „Selecting the prime movers and nominal powers in combined heat and power systems”, 2007 Elsevier Ltd., Available online at www.sciencedirect.com 22 August 2007, Applied Thermal Engineering 28 (2008) 1177–1188.
- [7] *ASHRAE. (2008)*, Handbook - „Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Systems and Equipment” (I-P Edition). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- [8] SR EN 15316-4-4, Performanța energetică a clădirilor. Metodă de calcul a cerințelor energetice și a randamentelor sistemelor. Partea 4-4: Sisteme de producere a căldurii: instalații de cogenerare integrate în clădiri, Modulele M8-3-4, M8-8-4, M8-11-4
- [9] SR CEN/TR 15316-6-7, Performanța energetică a clădirilor. Metodă de calcul a cerințelor energetice și a randamentelor sistemelor. Partea 6-7: Explicarea și justificarea EN 15316-4-4, Modulele M8-3-4, M8-8-4, M8-11-4

Application des indicateurs PMV, PPD de confort thermique et du critère de confort thermique local pour l'évaluation des paramètres du microclimat dans la chambre à condition que les parois sont endommagées

Application des indicateurs PMV, PPD de confort thermique et du critère de confort thermique local pour l'évaluation des paramètres du microclimat dans la chambre à condition que les parois sont endommagées

Viktor Petrenko¹, Kostiantyn Dikarev², Oleksandra Kuzmenko³,
Anatolii Petrenko⁴, Ivan Ogdanskyy⁵

¹Prydniprovskia Académie d'Etat de Génie Civil et d'Architecture
Dnipro, Ukraine, rue Tchernychevskogo, 24-A, tél. +38 (0562) 47-59-77
E-mail: petrenko@mail.pgasa.dp.ua

²Prydniprovskia Académie d'Etat de Génie Civil et d'Architecture
Dnipro, Ukraine, rue Tchernychevskogo, 24-A, tél. +38 (0562) 46-98-76
E-mail: kdikarev@ukr.net,

³Prydniprovskia Académie d'Etat de Génie Civil et d'Architecture
Dnipro, Ukraine, rue Tchernychevskogo, 24-A, tél. +38 (0562) 46-98-76
E-mail: aleksandra_kuzmenko@i.ua

⁴Prydniprovskia Académie d'Etat de Génie Civil et d'Architecture
Dnipro, Ukraine, rue Tchernychevskogo, 24-A, tél. +38 (056) 756-34-86
E-mail: PetrenkoAO@ua.fm

⁵Prydniprovskia Académie d'Etat de Génie Civil et d'Architecture
Dnipro, Ukraine, rue Tchernychevskogo, 24-A, tél. +38 (056) 746-64-61
E-mail: ivan.ogdanskyy@gmail.com

Résumé. *Le présent travail a pour objet d'appliquer les indices du confort thermique comme le vote moyen prévisible PMV (The predicted mean vote), le pourcentage de personnes insatisfaites PPD (The predicted percentage dissatisfied) et des critères de confort thermique local pour l'évaluation des paramètres du microclimat dans la chambre formée par les parois endommagées.*

Les mots-clés: confort thermique, vote moyen prévisible PMV (The predicted mean vote), pourcentage de personnes insatisfaites PPD (The predicted percentage dissatisfied), zone endommagée; critères de confort thermique local

Abstract. *The purpose of this paper is to apply the indices of thermal comfort such as predicted mean vote (PMV), percentage of dissatisfied PPDs, and local thermal comfort*

criteria for the assessment. parameters of the microclimate in the chamber formed by the damaged walls.

Keywords: thermal comfort, predicted mean vote (PMV), percentage dissatisfied PPD (predicted percentage dissatisfied), damaged area; local thermal comfort criteria

1. Introduction

Auparavant, les auteurs de cet article ont examiné les changements des paramètres de microclimat dans la chambre, qui est formée par les parois endommagées en utilisant la méthode d'estimation de la température de l'ambiance intérieure [8, 9]. Les indicateurs de confort thermique PMV, PPD et les critères de confort thermique local qui permettent d'évaluer des paramètres du microclimat pour la chambre choisie n'étaient pas considérés dans les travaux mentionnés. En outre, les limites de la réduction possible de la température de l'air intérieur dans la pièce, en fonction du pourcentage de la zone endommagée n'étaient pas définies.

Nous avons focalisé l'attention sur les objectifs suivants dans cette étude:

- évaluer les paramètres du microclimat dans la pièce, qui possède les parois endommagées selon les indicateurs de confort thermique: PMV, PPD et des critères de confort thermique local;
- déterminer les limites de la réduction possible de la température de l'air intérieur dans la pièce, en fonction du pourcentage de la zone endommagée de la paroi extérieure, de l'activité motrice de l'homme et de la résistance thermique du vêtement.

2. Les données initiales

Cette étude est basée sur la méthode de calcul [1] visée à prévoir et évaluer le microclimat dans la chambre et l'influence de ce dernier sur l'état général d'un homme. La méthode est proposée par le docteur Ole Fanger (Centre International des problèmes de l'environnement intérieur et de l'énergie, L'Université technique du Danemark) et validée par les normes internationales et ukrainiennes [2, 3]. La technique de la méthode est basée sur les sensations thermiques humaines qui sont liées à l'équilibre de chaleur. Ayant étudié les normes [2, 3] nous avons trouvé les exemples où on considère les conditions d'activité vitale, qui sont liées à la réalité et en même temps permettent d'évaluer les paramètres du microclimat et leur influence sur l'état général humain dans les conditions particulières. Ayant considéré l'expérience des investigations internationales et ukrainiennes [4, 5, 6, 7, 12] nous pouvons constater que le domaine d'application de cette méthode peut être élargi.

La méthode est basée sur l'approche connue dans la physiologie de thermorégulation. Cette approche considère les sensations générales humaines qui sont liées à l'équilibre de chaleur du corps entier. Si la production de la chaleur excède les déperditions on observe le réchauffement du corps ce qui provoque les sensations «chaud», «très chaud» etc. Et au contraire le processus de refroidissement est caractérisé par les sensations «froid», «très froid». Les rapports de l'équilibre mentionnés sont décrits

par les équations, qui établissent la liaison entre les valeurs suivantes: la production de chaleur par le corps (l'activité physique humaine), les propriétés isolantes du vêtement, la température de l'air, la température de rayonnement moyenne des surfaces orientées à l'intérieur, la vitesse du mouvement du vent, l'humidité relative de l'air. On calcule la température de la surface du vêtement et le coefficient de convection au cours de la résolution des ratios d'équilibre par la méthode d'itération. Au cas où nous disposons les résultats des mesures et (ou) des calculs de ces valeurs, nous pouvons prévoir les sensations thermiques humaines ayant n'importe quel régime de température. Pour cet enjeu nous utilisons la formule de Fanger et les calculs du vote moyen prévisible PMV (The predicted mean vote). Le PMV mesure la perception de la température. C'est le score moyen obtenu pour un groupe de personnes important sur une échelle en sept points qui détermine la température perçue. Le diapason des estimations se varie de +3 à -3, ou -3 correspond à la sensation «froide» et +3 – «brûlante». Le score idéal est 0, soit une température perçue comme neutre, en équilibre thermique avec le corps humain. Cette méthode permet de calculer les valeurs de PMV avec la partie décimale dans les limites mentionnées. L'indice PPD établit une prévision quantitative du pourcentage de personnes insatisfaites thermiquement, susceptibles d'avoir trop chaud ou trop froid. L'indice PPD est calculé à partir de l'indice PMV. Un niveau de confort est considéré comme acceptable lorsque 80% des personnes sont satisfaites thermiquement. Cette valeur correspond à un indice PMV entre -0,5 et +0,5. Il est important que lorsque la température moyenne perçue d'un groupe est neutre (PMV), le postulat prédictif du pourcentage d'insatisfaits (PPD) s'élève à 5%. En raison des différences individuelles, il est impossible de créer une ambiance thermique qui satisfasse tout le monde.

Nous avons admis les données initiales suivantes pour la prévision des indices du confort thermique et des critères du confort local thermique dans la chambre avec les parois endommagées pour la période hivernale:

- l'activité motrice de l'homme moyen de masse 70 kg et de la hauteur 1,7 m fait 70 W/m² ou 1,2 (travail sédentaire (bureau, école, laboratoire)) [3];
- la valeur vestimentaire pour la période donnée – $0,11 \frac{m^2 \cdot K}{W}$ ou 0,7 *clo* (sous-vêtement, T-shirt, pantalon léger, chaussettes légères, chaussures) [3];
- la température moyenne de l'air dans les bâtiments résidentiels et publics peut se varier entre 16°C à 24°C ;
- la température de rayonnement moyenne (la température sur les surfaces intérieures des parois externes, sur les objets qui se trouvent dans la pièce) peut se varier entre 16 °C et 24°C ;
- la température moyenne de radiation (la température sur la surface des appareils du système de chauffage) peut se varier de 28°C à 105°C en fonction des paramètres climatiques externes;
- la vitesse de l'air intérieur en l'absence et en présence des systèmes de ventilation mécanique double flux est variable entre $0 \frac{m}{s}$ et $0,5 \frac{m}{s}$;
- l'humidité relative de l'air intérieur fait de 30% à 60%.

3. Présentation du contenu général et l'analyse

Les calculs présentés ci-dessous nous avons admis les limites de variation des paramètres du microclimat selon les calculs [8, 11] et d'après la méthode de détermination des indices PMV, PPD et des critères du confort thermique local [2, 3] en tenant compte la zone endommagée de la paroi extérieure.

En général le calcul peut être exprimé par le système des équations (1), qui permettent de calculer les valeurs PMV, PPD, des critères du confort thermique local et la température prévisionnelle de l'aire intérieure dans la chambre formée par les parois des types différentes en tenant compte le taux des défauts du mur extérieur x_{endom} .

$$\begin{cases} PMV = f\left(M, W, I_v, f_v, t_a, \bar{t}_r, v_{ar}, p_a, h_c, t_v\right) \\ PPD = f(PMV) \\ PD = f\left(t_{pl}, \Delta t_{pr}, \Delta t_{a,v}\right) \\ t'_{int} = \frac{Q_b \cdot (t_{int} - t_{ext})}{Q_b^{endom}} + t_{ext} \end{cases} \quad (1)$$

ou M - le ratio de métabolisme, $\frac{W}{m^2}$; W - la puissance mécanique efficace, $\frac{W}{m^2}$; I_v - isolation vestimentaire, $\frac{m^2 \cdot K}{W}$; f_v - le facteur de la surface vestimentaire; t_a - la température de l'air, $^{\circ}C$; $\bar{t}_r$ - la température moyenne de radiation, $^{\circ}C$; v_{ar} - la vitesse relative de l'air intérieur, $\frac{m}{s}$; p_a - la pression partielle de la vapeur d'eau, Pa ; h_c - le coefficient convectif du transfert de la chaleur, $\frac{W}{m^2 \cdot K}$; t_v - la température de la surface vestimentaire, $^{\circ}C$; t_{pl} - la température du plancher, $^{\circ}C$; Δt_{pr} - l'asymétrie radiante, $^{\circ}C$; $\Delta t_{a,v}$ - la différence de températures verticale entre la tête et les pieds, $^{\circ}C$; Q_b - les déperditions totales de la chaleur de la chambre sans la zone endommagée, W ; Q_b^{endom} - les déperditions totales de la chaleur de la chambre avec certaines zones endommagées, W ; t_{int} - la température intérieure déterminée, $^{\circ}C$; t_{ext} - la température extérieure déterminée pour la saison hivernale, $^{\circ}C$.

Les tableaux 1, 2 et les figures 1, 2 présentent les résultats de la résolution complexe de l'équation (1) visant à obtenir le vote moyen prévisible PMV et le pourcentage de personnes insatisfaites PPD en fonction du taux des défauts de la paroi. Les données obtenues prouvent la possibilité de survenance du moment où la personne se sent en inconfort thermique.

Tableau 1

Le vote moyen prévisible en fonction du taux des défauts de la paroi

La vitesse de l'air, m/s	La température moyenne de l'air dans la chambre, °C										
	22,0	21,5	21,0	20,5	20,0	19,5	19,0	18,5	18,0	17,5	17,0
0	-0,51	-0,64	-0,77	-0,91	-1,04	-1,18	-1,31	-1,44	-1,57	-1,71	-1,84
0,1	-0,7	-0,83	-0,97	-1,1	-1,23	-1,37	-1,5	-1,63	-1,76	-1,9	-2,03
0,2	-0,89	-1,03	-1,18	-1,32	-1,46	-1,6	-1,74	-1,89	-2,03	-2,17	-2,31
0,3	-1,03	-1,18	-1,33	-1,48	-1,62	-1,77	-1,92	-2,07	-2,22	-2,36	-2,51
0,4	-1,14	-1,29	-1,45	-1,6	-1,75	-1,91	-2,06	-2,21	-2,36	-2,51	-2,57
0,5	-1,23	-1,39	-1,54	-1,7	-1,86	-2,02	-2,17	-2,33	-2,48	-2,64	-2,8

Selon le vote moyen prévisible (PMV) nous déterminons la catégorie du milieu thermique nécessaire d'après [2, 3], et on constate que:

- à condition de la présence de la zone endommagée seulement du mur extérieur (Fig. 1a), du mur extérieur avec la fenêtre installée (Fig. 1b), des quelques parois des types différentes et de la zone endommagée du mur extérieur avec la fenêtre installée (Fig. 1c), du changement du taux des défauts du mur extérieur $0 < x_{endom} < 1$, du changement de la vitesse de l'air intérieur $0 < v_{ar} < 0,5$ - les valeurs du vote moyen prévisible sont comprises dans une plage $-1,04 < PMV < -2,8$, ce qui correspond à la classe la plus inférieure de l'ambiance thermique nécessaire – C.

Selon le pourcentage de personnes insatisfaites (PPD) nous déterminons la catégorie du milieu thermique nécessaire d'après [2, 3], et on constate que:

- à condition de la présence de la zone endommagée seulement du mur extérieur (Fig. 1a), du mur extérieur avec la fenêtre installée (Fig. 1b), des quelques parois des types différentes et de la zone endommagée du mur extérieur avec la fenêtre installée (Fig. 1c), du changement du taux des défauts du mur extérieur $0 < x_{endom} < 1$, du changement de la vitesse de l'air intérieur $0 < v_{ar} < 0,5$ - la valeur du pourcentage de personnes insatisfaites fait $PPD > 27,91$, ce qui aussi correspond à la classe la plus inférieure de l'ambiance thermique nécessaire – C.

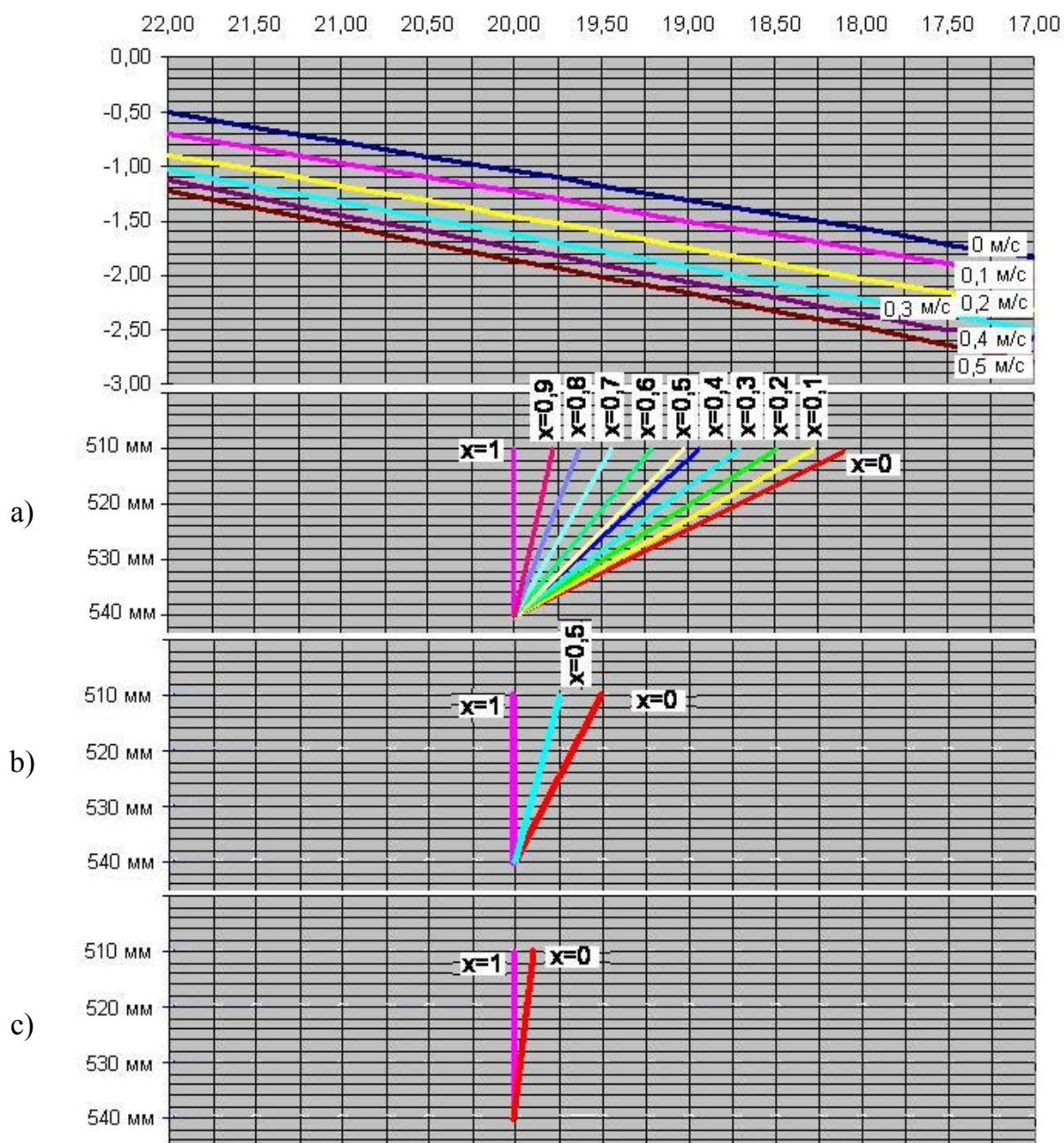


Fig. 1. Le vote moyen prévisible (PMV) en fonction du taux des défauts de la paroi
 a) à condition de la présence de la zone endommagée seulement du mur extérieur [8]; b)) à condition de la présence de la zone endommagée du mur extérieur avec la fenêtre installée [11]; c) à condition de la présence des quelques parois des types différentes et de la zone endommagée du mur extérieur avec la fenêtre installée [11]

Tableau 2

Le pourcentage de personnes insatisfaites (PPD) en fonction du taux des défauts de la paroi

La vitesse de l'air, m/s	La température moyenne de l'air dans la chambre, °C									
	22,0	21,5	21,0	20,5	20,0	19,5	19,0	18,5	18,0	17,5
0	10,37	13,62	17,64	22,42	27,91	34,04	40,7	47,73	54,95	62,13
0,1	15,18	19,56	24,69	30,51	36,91	43,77	50,91	58,12	65,19	71,89
0,2	21,69	27,51	34,08	41,23	48,79	56,51	64,12	71,36	77,95	83,7
0,3	27,33	34,19	41,69	49,62	57,7	65,62	73,06	79,75	85,46	90,08
0,4	32,26	39,87	47,99	56,35	64,59	72,36	79,35	85,31	90,11	93,73
0,5	36,6	44,76	53,29	61,84	70,02	77,47	83,9	89,13	93,1	95,92
										97,77

Pour évaluation du confort local thermique on utilise les données [8, 11], qui sont représentées dans le tableau 3.

Tableau 3

Les températures estimées sur les surfaces des couches de parois avec la zone endommagée

Les valeurs de température sur les surfaces des couches du mur	L'épaisseur d'un mur avec la zone endommagée, mm			
	540 mm	530 mm	520 mm	510 mm
La température sur la surface intérieure du mur, τ_{θ}^I , °C	13,68	13,58	13,49	13,39

Ayant ces résultats nous avons la possibilité d'évaluer le confort local conditionné par l'asymétrie radiante Δt_{pr} , °C. L'indice d'un inconfort local est dans une plage comprise entre 1,18 % < PD < 1,3 % (nous avons admis la température sur les surfaces intérieures des parois équivalentes à la température de l'air intérieur). Ayant ces valeurs de PD, selon [2, 3], la catégorie de l'ambiance thermique nécessaire correspond à A. Par ailleurs il faut comprendre que la valeur de l'asymétrie radiante pour la catégorie A se varie entre $0 < \Delta t_{pr} < 9$. En plus on ne tient pas en compte la valeur de température de l'air intérieur pour déterminer la valeur de l'asymétrie radiante. Cette approche ne succède pas à l'estimation correcte de l'état du microclimat comme un paramètre particulier.

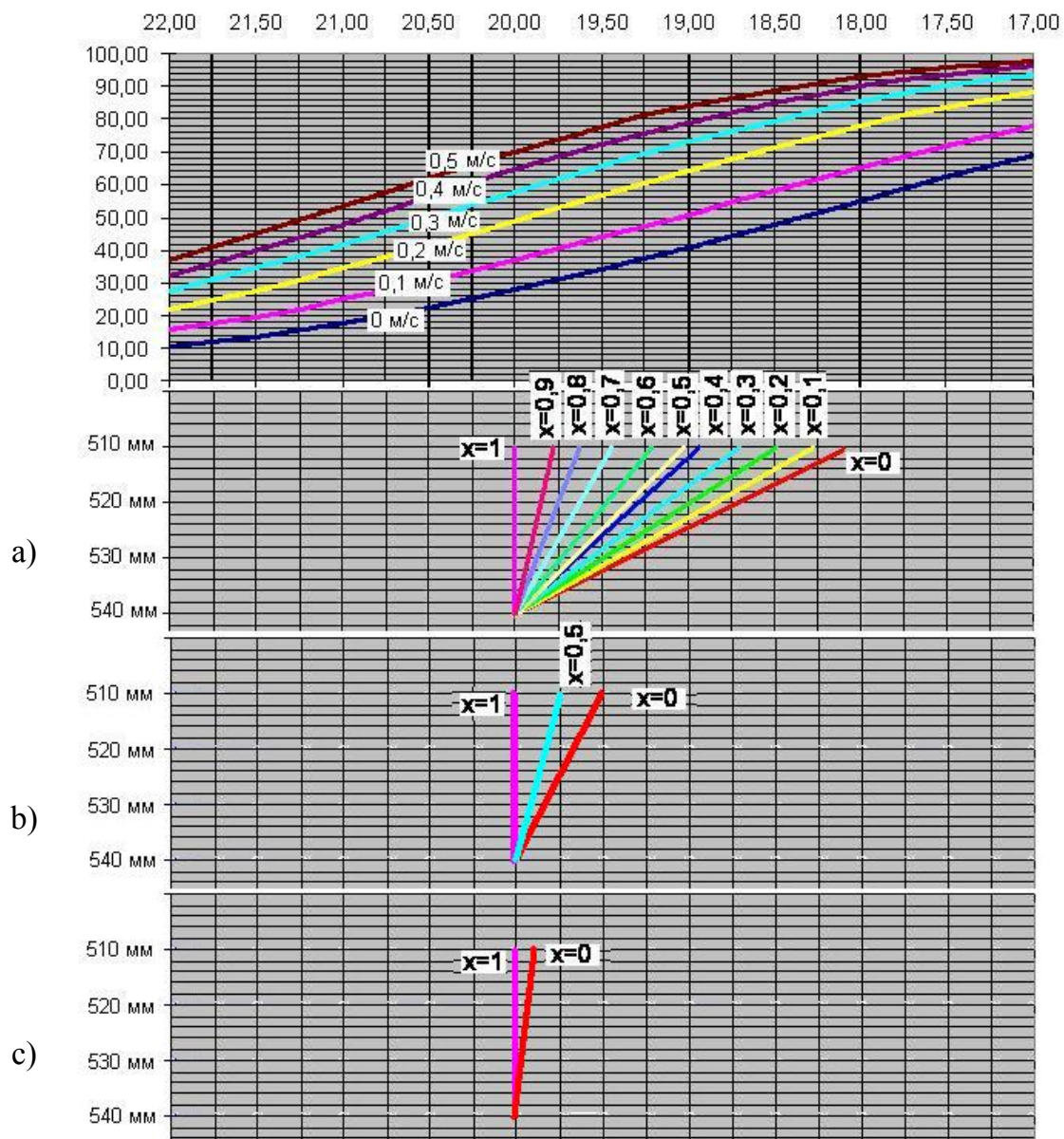


Fig. 2. Le pourcentage de personnes insatisfaites (PPD) en fonction du taux des défauts de la paroi: a) à condition de la présence de la zone endommagée seulement du mur extérieur [8]; b) à condition de la présence de la zone endommagée du mur extérieur avec la fenêtre installée [11]; c) à condition de la présence des quelques parois des types différentes et de la zone endommagée du mur extérieur avec la fenêtre installée [11]

Conclusions

Ce travail révèle les questions de la prévision et de l'évaluation des paramètres du microclimat en utilisant les indices du confort thermique PMV, PPD et des critères de confort thermique local dans la chambre formée par les parois endommagées. Les données analytiques obtenues prouvent que la survenance du moment où la personne se sent en inconfort thermique est possible dans le bâtiment avec les parois endommagées. Les conclusions et les recommandations générales sont suivantes:

Application of heat comfort indicators PMV, PPD and local heat comfort criteria for estimation of microclimate parameters in room on condition that building envelope is damaged

- la méthode de calcul [2, 3] peut être utilisée pour la prévision et l'évaluation du microclimat et de son influence sur l'état de personne dans la chambre avec les parois endommagées;
- les données de calcul de l'évaluation des indices PMV, PPD i PD prouvent la possibilité de la réduction du confort thermique dans la chambre avec les parois endommagées;
- les données de prévision des indices PMV, PPD nous montrent qu'à la température de l'air intérieur qui fait $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ et à condition que $0\frac{m}{s} < v_{ar} < 0,5\frac{m}{s}$ les sensations humaines correspondent à la catégorie de la chambre – C. L'apparition et la croissance de x_{endom} amplifient cette sensation. Même si selon l'indice PD nous obtenons la classe A - au cours de l'évaluation complexe il correspond à la classe la plus inférieure de l'ambiance thermique nécessaire.

Bibliographie

- [1] Fanger P.O. et al. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering // Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. – 1970.
- [2] EN ISO 7730:2005, IDT Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
- [3] DSTU B EN ISO 7730:2011 Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
- [4] JOOSTENS F., ITARD L. Building Management for a Good Indoor Climate and Low Energy Use.
- [5] Leksin A. G. i dr. Application of PMV and PPD indices to predict how metro passengers evaluate the grade of thermal comfort or discomfort in different temperature conditions // Gigiena i sanitarija. – 2014. – T. 93. – №. 3.
- [6] Belikov A.S. et al. Modelling and optimization of micro-climatic conditions and parameters of the life support systems of buildings // Dnipropetrovs'k, Ekonomika Publ. – 2013.
- [7] Golyakova I.V. et al. Microclimate in premises with local heat dissipations: monograph // Dnipropetrovs'k, PSASeA. – 2016.
- [8] Petrenko, V., Dikarev, K., Volchok, D., & Kuzmenko, O. Estimation of indoor temperatures on condition that building envelope is damaged // Revista Romana de Inginerie Civila. – 2017. – T. 8. – №. 1. – P. 36.
- [9] Petrenko V.O., Petrenko A.O., Golyakova I.V. Factors influencing the microclimate in the premises, which has a building faults and HVAC systems // Stroytelstvo. Materialovedenye. Mashynostroenye. Seryia: Starodubovskye chtenyia. – 2016. – №. 93. – P. 286–291.
- [10] Sulin A.B. et al. Indices of thermal comfort // St-Petersburg.: ITMO University, 2016. 36 p.
- [11] Petrenko, V., Dikarev, K., Volchok, D., & Kuzmenko, O. (2018). Evaluation of indoor temperature for various building envelopes damaged. In E3S Web of Conferences (Vol. 32, p. 01019).
- [12] Schumacher, R., W. A. M. Wortel, and P. A. Wieringa. "Human factors in thermal indoor climate and thermal comfort." Conference on human decision making and manual control, Lyngby, June 25-27, 2001. Ørsted DTU, Automation, 2001.

Prof/trac project – improving skills for successfully designing, constructing, renovating and operating nearly zero energy buildings

Andrei Vladimir LIȚIU¹, Tiziana BUSO², Anita DERJANECZ²,
Carmen Luminița CUC³, Ioan Silviu DOBOȘI⁴, Adrian RETEZAN⁵

¹S.C. PRODAO-ING S.R.L./KTH Royal Institute of Technology, ²REHVA, România

³S.C. PRODAO-ING S.R.L. România, ⁴S.C. DOSETIMPEX S.R.L., România

⁵ University "Politehnica" Timișoara, România

Abstract:

Nearly Zero Energy Buildings (nZEB) construction and renovation require a large contribution from the building sector and is a challenge for the construction industry. It requires innovative design processes and technologies based on an integrated design approach and multidisciplinary team work. This approach is not yet common, as the building sector still works in a fragmented process. PROF/TRAC provides a solution to overcome this barrier by offering an Open Training Platform and Qualification Scheme for Continuing Professional Development for professionals in the building sector. This platform targets technical experts, architects and building managers involved in nZEB design, construction, renovation and operation.

Keywords: nZEB skills, design, construction, maintenance, continuing professional development.

Rezumat:

Construirea și renovarea Clădirilor cu consum de Energie aproape Zero (CEaZ) necesită o contribuție considerabilă din partea sectorului de construcții civile și reprezintă o provocare pentru industria construcțiilor.

Sunt necesare procese de proiectare și tehnologie inovative bazându-se pe o abordare de proiectare integrativă și muncă multi-disciplinară în echipă. Această abordare încă nu este uzuală deoarece sectorul construcțiilor civile lucrează într-un proces fragmentat. PROF/TRAC prevede o soluție pentru a depăși acest obstacol oferind o Platformă de Pregătire și un Sistem de Calificare deschise pentru continuarea dezvoltării profesionale a practicienilor din sectorul construcțiilor civile.

Această platformă țintește experți tehnici, arhitecți și administratori de clădiri implicați în proiectarea, construirea, renovarea și exploatarea CEaZ.

Cuvinte cheie: nZEB abilități, proiectare, construcție, întreținere, dezvoltare profesională continuă.

1. Overview

The PROF/TRAC European Qualification Scheme on nZEB skills aims at overcoming market barriers towards a successful design, construction, renovation and

operation process of nZEB. It targets professionals with a higher education degree in the construction sector, the so-called white-collars.

The qualification scheme is the outcome of an intensive consultation among national experts in PROF/TRAC partner countries. This work resulted in the definition of:

- Harmonized work fields;
- nZEB skills;
- nZEB skills levels;
- Description of qualifications across Europe.

This framework constitutes a solid basis to compare the nZEB skills requested to different professions and to the same profession from one country to the other.

Defining and targeting specific professions at the European level is still difficult. On the one hand, a specific profession can fulfil different tasks in different countries; on the other hand, definitions of professions differ from country to country and some professions are not defined at all outside national borders.

For overcoming this fragmented EU situation, PROF/TRAC grouped professions per work field. Seven work fields were identified, and for each of them reference professions were selected.

Work fields and corresponding reference professions are described on task basis, to facilitate a transparent and harmonised understanding as presented in Table 1.

Table 1

*Work fields and reference professions targeted in PROF/TRAC
Qualification Scheme*

Work field	Reference profession(s) within the work field
Architecture	Architect
Civil engineering	Structural Engineer
	Civil Engineer
	Construction Engineer
Mechanical engineering	Mechanical Engineer
	Energy Engineer
	Building Automation Engineer
Electrical engineering	Electrical Engineer
	ICT Engineer
Construction management	Project Manager
	Cost Expert, Cost Engineer
	Manager of Building Process
Building management	Facility Manager
	Technical Energy Engineer
Financing and procurement	Procurer
	Chief Procurement Officer
	Project Developer

2. The Qualification Scheme

The Qualification Scheme answers to the need of defining and mapping nZEB skills in a harmonized way across work fields.

The scheme lists the essential technologies and skills required for professionals dealing with nZEB, categorized in four areas of expertise as shown in Figure 1:

- Energy Management (EM)
- Energy Production (EP)
- Energy Reduction (ER)
- Interdisciplinary Skills (IS)

For each technology and interdisciplinary skill, a precise description of recommended competences is also provided.

These specific competences, here named as “qualifications”, describe in more detail the needed knowledge, skills and behaviour of a professional in nZEB.

Of course, not all professions are expected to have the same skills and qualifications levels for all the identified nZEB technologies. Thus, PROF/TRAC has:

- Established skills levels, with assigned scores from 0 (min.) to 5 (max.);

Set-up recommendations about the minimum skills level for each work field per skills and qualifications.

It should be noted that the current list of technologies, skills and qualifications is the result of the consultation with nZEB experts within PROF/TRAC consortium.

With the disclosure of this qualification scheme to other experts and considering the fast technological progress of the energy performance of buildings market, this list is expected to extend.

2. nZEB skills recommendations

Based on national skills mappings and experts’ consultations, PROF/TRAC defined minimum skills levels per work field for each nZEB technology and interdisciplinary skill described in the Qualification Scheme. A selection is illustrated in Figure 2, Figure 3, Figure 4, Figure 5.

By cross-referencing PROF/TRAC EU skills levels recommendations per work field and skills levels recommendation per qualification, PROF/TRAC offers a EU harmonized nZEB skills mapping tool.

S K I L S L E V E L S	0	Not applicable/no knowledge and skills required	
	1	Has little knowledge and skills with respect to the relevant field/technology (mostly outside the own field of expertise)	
	2	Understands basic knowledge and has practical skills within the field/technology, is able to solve simple problems by selecting and applying basic methods, tools, materials and information (mostly outside the own field of expertise)	
	3	Has comprehensive, factual and theoretical knowledge and skills within the field/technology, is capable of solving problems within the field	
	4	Has advanced knowledge involving a critical understanding of theories and principles, and skills required to solve complex and unpredictable problems in the field, and is aware of the boundaries	
	5	Has specialized knowledge and problem solving skills, partly at the forefront of knowledge in the field, in order to develop new knowledge and procedures and to integrate knowledge from different fields	
S K I L S	EM1	Smart grid systems	ENERGY MANAGEMENT
	EM2	Domotic systems	
	EM3	Building management systems	
	EP1	Geothermal energy	ENERGY PRODUCTION
	EP2	Biomass	
	EP3	Biogas	
	EP4	District Heating and Cooling	
	EP5	Heat pumps	
	EP6	Solar power systems for Electricity generation	
	EP7	Solar thermal systems for Cooling generation	
	EP8	Solar thermal systems for Domestic Hot Water and/or Heating	
	EP9	Mini wind power	
	EP10	Combined Heat and Power (CHP)	
	ER1	Insulation	ENERGY REDUCTION
	ER2	Air tightness building	
	ER3	Micro climates	
	ER4	Envelope systems	
	ER5	Hot Water systems	
	ER6	Window and/or glazing systems	
	ER7	Heating and Cooling emission systems	
	ER8	Electric Heating systems	
	ER9	Artificial lighting systems	
	ER10	Ventilation systems	
	IS5	Sustainable architectural design	SUSTAINABLE INTEGRATED DESIGN
	IS6	Integrated design	
	IS7	Sustainable building materials	
	IS8	Sustainable installation materials	
	IS9	Environmental (indoor) quality	
	IS1	Communication	INTERDISCIPLINARY SKILLS
	IS2	Information management	
	IS3	Collaboration	
	IS4	Quality assurance	

Figure 1 nZEB skills levels and technology

Prof/trac project – improving skills for successfully designing, constructing, renovating and operating nearly zero energy buildings

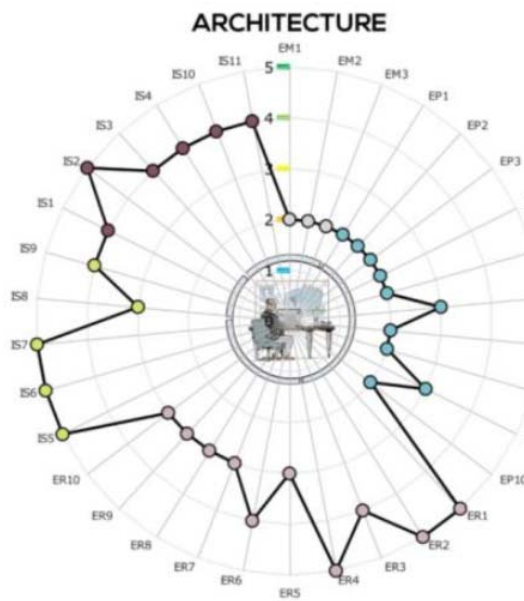


Figure 2 nZEB skills levels

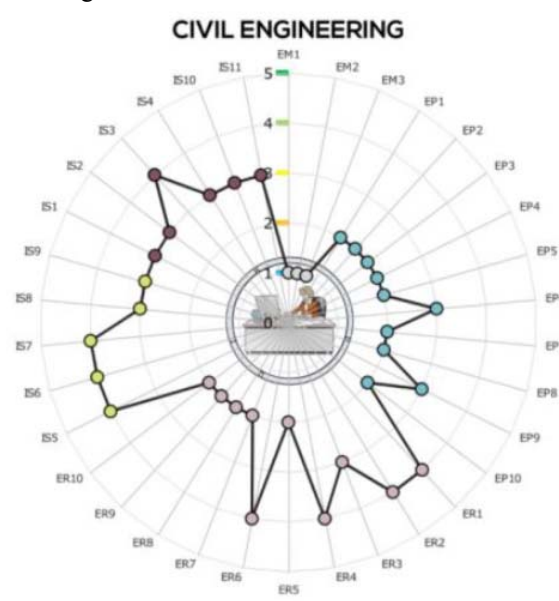


Figure 3 nZEB skills levels

These scores represent the minimum recommended nZEB skills levels for the listed skills and refer to the reference professions representative of the work fields.

These recommendations can be adapted to the national level situation and needs. Depending on the competences (i.e. the “qualifications”) required for a defined profession in a specific country, the PROF/TRAC suggested minimum skills levels may be adjusted higher or lower.

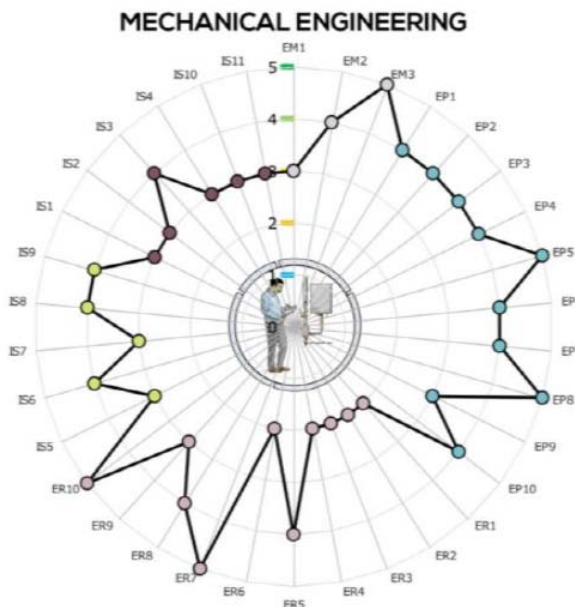


Figure 4 nZEB skills levels

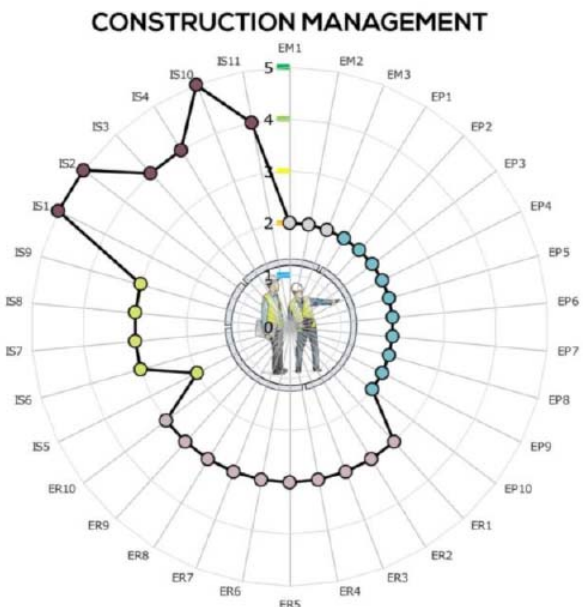


Figure 5 nZEB skills levels

3. Outcome

The PROF/TRAC team finished a successful 3-years project in February 2018 with many achievements to be proud of. The project outcomes were presented in a successful event in Brussels on 20 February 2018, engaging many stakeholders in interesting discussions.

PROF/TRAC project's consortium developed a European Qualification Scheme with minimum skill levels recommendations for the professions involved in the design, construction, renovation, and operation of nearly Zero Energy Buildings. The scheme offers a skills mapping methodology adaptable to each country, and a BUILD UP Skills Advisory App for assessing skills and matching training needs with course offers.

PROF/TRAC trained 128 certified trainers from 23 countries, who are now ambassadors deploying the courses across Europe. The Train-the-Trainer course is published as recorded webinar series available to all experts along with the open Training Material Repository collecting materials for courses.

The certified PROF/TRAC ambassadors organised several courses in Europe and have trained 1,389 professionals in 3 years.

PROF/TRAC courses will roll-on also after the project. REHVA member associations are committed to keep up the trainings, at least 50 courses are foreseen in the next 5 years with 1.700 more professionals to be trained.

In coincidence with the Project's closure, the PROF/TRAC website (www.profrac.eu) has been updated for facilitating the use and dissemination of the Project's results and to foster its after project life. The new design and content structure will help the viewers to identify useful information e.g. the complete list of Certified Training Providers, the Qualification Scheme, the nZEB skills recommendations and to access training material e.g. the online Train-the-Trainers course, the Training Material Repository.

Bibliografie:

PROF/TRAC Project: Open Training and Qualification Platform on NZEB construction and renovation. The project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 649473. (<http://profrac.eu/opentraining-platform-for-nzeb-professionals.html>)

Evaluation de déplacement maximal d'un noeud constructif à condition de robustesse et ayant un volume imprécis

Maximum displacement evaluation of a node constructive, provided that it is robust and has a volume imprecise

¹Baranenko Valeriy, ²Volchok Denys

¹Prydniprovskia Académie d'Etat de Génie Civil et d'Architecture
Dnipro, Ukraine, rue Tchernychevskogo, 24-A, tél.+38 (0562) 47-59-77
E-mail: baranenko1941@ukr.net
ORCID ID: 0000-0002-4658-1205

²Prydniprovskia Académie d'Etat de Génie Civil et d'Architecture
Dnipro, Ukraine, rue Tchernychevskogo, 24-A, tél. +38 (0562) 47-59-77
E-mail: Denys.L.Volchok@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-7914-321X

Résumé. *Le but de travail consiste en représentation de l'influence des données initiales indéfinies sur la conception des systèmes. Nous proposons d'utiliser les ensembles flous comme l'ambiguïté. En guise de l'objet de calcul nous utilisons la ferme complexe.*

Les mots-clés: ferme complexe, les données initiales indéfinies, les nombres flous

1. Introduction

Au cours du développement d'un prototype de construction le concepteur est obligé de spécifier les cibles et les données initiales en termes: le poids de construction doit être "approximativement égal à V ", la température ou la charge est "à peu près une telle ou une autre valeur", ou "un peu plus / moins" etc. Telles formulations des tâches de conception pour l'analyse ou l'optimisation des constructions sont assez extraordinaires. Actuellement la présence de n'importe quelle ambiguïté provoque le recours à la théorie des probabilités. Cette théorie est appliquée dans le domaine du génie civil [1] et elle est juste dans le cas de présence d'informations statistiques suffisantes et de la description de la modalité du type "accidentellement". Dans d'autres cas il est raisonnable de considérer les autres types d'ambiguïté, comme "l'incertitude" et "l'imprécision". Dans ce travail la théorie des ensembles flous [2, 3] est appliquée. Nous avons prévu les étapes suivantes pour la simulation: la phasification, l'analyse ou l'optimisation et la dephasification.

2. Le problème

Supposons que nous avons un système élastique à barre articulée déterminé statiquement (STAS) avec n éléments et m noeuds. La charge extérieure F_j ; $j = 1, 2, \dots, k$ est appliquée aux k noeuds du STAS. Les paramètres géométrique et physique du STAS sont connus. Les aires de surface des sections des éléments A_i ; $i = 1, 2, \dots, n$ vont être déterminées à partir de la condition de la robustesse ; de la stabilité et d'un volume donné de construction V_0 , ainsi que de l'assurance du déplacement maximal v (vertical ou horizontal) d'un noeud certain t . De la condition de robustesse nous définissons des régions de solutions admissibles:

$$\Omega_i = \{A_i, A_i^0 \leq A_i < \infty\}, \quad (1)$$

$$\text{ou } A_i^0 = |N_i| / R_i^*; \quad R_i^* = \begin{cases} R_0, N_i > 0; \\ \varphi R_0, N_i < 0; \end{cases}$$

N_i - l'effort dans l'élément i du STAS sous l'action de la charge extérieure; φ - le coefficient de flexion longitudinale; R_0 - la résistance calculée. Si les dimensions sont limitées $A_i^s \leq A_i < A_i^+$, la région de solutions admissibles sera:

$$\Omega_i = \{A_i; (A_i^s, A_i^0) \leq A_i < A_i^+\},$$

On peut décrire le déplacement maximal d'un noeuds t à l'aide de l'intégrale de Mohr.

$$v = \sum_{i=1}^n D_i / A_i; \quad D_i = \frac{N_i \overline{N}_i l_i}{E},$$

ou $\overline{N}_i$ - l'effort dans l'élément i du STAS sous l'action de la charge égale à l'unité et appliquée au noeud t , E - le module d'élasticité.

Le problème présenté ci-dessus on décrit sous forme d'un modèle d'optimisation:

$$\{A_i^*, V^*\} = \arg \left\{ \max_{A_1, A_2, \dots, A_n} \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{A_i} \mid A_i \in \Omega \right\}. \quad (2)$$

Ce problème correspond au type des tâches de distribution de ressources dans la programmation mathématique. Pour sa résolution nous utilisons l'appareil des équations fonctionnelles de méthode de programmation dynamique en forme discrète.

3. Programmation dynamique

On introduit la fonction de Bellman:

$$f_i(d_i) = \max_{A_1, A_2, \dots, A_n} \sum_{k=1}^n \frac{D_k}{A_k} \quad (3)$$

En admettant que le processus de la prise de décision commence au "moment" $k = i$ et se termine au "moment" $k = n$, donc l'état de valeur peut être présenté par l'expression:

$$d_i = \sum_{k=i}^n l_k A_k; \quad d_1 = V_0. \quad (4)$$

Evaluation de déplacement maximal d'un noeud constructif à condition de robustesse et ayant un volume imprécis

Conformément au principe de programmation dynamique optimale [4] on obtient l'équation fonctionnelle de méthode:

$$f_i(d_i) = \max_{A_i} \left[\frac{D_i}{A_i} + f_{i+1}(d_{i+1}) \right]; \quad i = n, n-1, \dots, 1; \quad (5)$$

$$f_{n+1}(d_{n+1}) \equiv 0; \quad d_{i+1} = d_i - l_i A_i.$$

Les equations (4) et (5) nous montrent de la manière inductive que:

$$H_i(A_i) = \frac{D_i}{A_i} + f_{i+1}(d_i - l_i A_i) =$$

$$= \frac{D_i}{A_i} + \sum_{k=i+1}^{n-1} \frac{D_k}{A_k^*} + \frac{D_n l_n}{d_i - l_i A_i - \sum_{k=i+1}^{n-1} l_k A_k^*}, \quad (6)$$

ou A_k^* ($k = 1, 2, \dots, n$) – les solutions optimales.

Ensuite ayant appliqué la condition nécessaire d'existence de l'extremum à la fonction $H_i(A_i)$, nous recevrons:

$$\frac{dH_i(A_i)}{dA_i} = -\frac{D_i}{A_i^2} + \frac{D_n l_n l_i}{(d_i^* - l_i A_i)^2} = 0. \quad (7)$$

De l'expression (7) on obtient:

$$A_i^0 = \frac{d_i^*}{l_i + \sqrt{\frac{D_n l_n l_i}{D_i}}}; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

ou

$$d_i^* = d_i - \sum_{k=i+1}^n l_k A_k^*. \quad (9)$$

En tenant compte la condition (1) la solution optimale prend la forme suivante :

$$A_i^* = \begin{cases} A_i^0, & A_i^0 > A_i^- \\ A_i^-, & A_i^0 \leq A_i^- \end{cases} \quad (10)$$

On utilise les rapports (8) - (10) comme une base des calculs récurrents suivants de décision optimale $\{A_i^*\}; \quad i = 1, 2, \dots, N$.

Tout d'abord on spécifie l'approximation initiale $A_i^{(k)}$, sur la base de laquelle nous calculons les éléments de la résolution successive $A_i^{(k+1)} = A_i^*$: en correspondance avec des formules (8)-(10) et des conditions $d_1 = V_0$. La condition de fin du processus est:

$$\frac{\sum_{i=1}^n \frac{D_i}{A_i^{(k-1)}} - \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{A_i^{(k)}}}{\sum_{i=1}^n \frac{D_i}{A_i^{(k)}}} \leq \varepsilon, \quad (11)$$

ou $\varepsilon > 0$ - l'exactitude donnée.

4. Illustration de l'application de méthode

Nous avons choisi les caractéristiques géométriques et physiques suivantes $h = 5 \text{ m}$, $h_1 = 2.5 \text{ m}$, $h_2 = 3 \text{ m}$, $h_3 = 4 \text{ m}$, $a = 3 \text{ m}$, $b = 3 \text{ m}$, $E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$, $[\sigma] = 150 \text{ MPa}$, $\varphi = 0.6$, $P_i = 10 \text{ kH}$, $t = 3$, $V_0 = 2.2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ pour pouvoir présenter l'approche proposée à l'optimisation de la ferme complexe (fig.1).

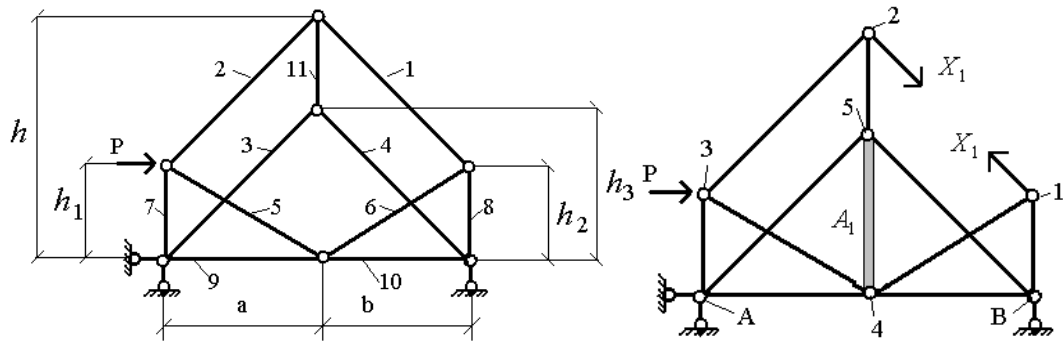


Fig.1. Ferme complexe statiquement déterminée et son système principal

Ayant ces données initiales nous avons calculé les efforts longitudinaux en utilisant la méthode de remplacement des barres et la méthode des section [5]. En plus nous avons utilisé le logiciel Lira et nous avons calculé les aires de surface des sections A_i^* et le déplacement horizontal v^* du noeud 3.

Tableau 1.

L'effort dans la barre i calculée par la méthode analytique ou obtenue de la simulation numérique, kN

L'effort	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	N_8	N_9	N_{10}	N_{11}
Méthode analytique, kN	-5,463	-5,917	4,261	4,261	-7,1	6,428	0,758	-7,576	7,443	-2,557	6,818
Lira, kN	-5,46	-5,92	4,26	4,26	-7,1	6,43	0,757	-7,57	7,44	-2,56	6,82
$D_i \cdot 10^{-8}$	5.124	6.51	4.324	4.324	9.375	8.348	0.06832	8.199	7.914	0.9339	2.214
$A_i^* \cdot 10^{-5}, \text{m}^2$	6.07	6.574	4.562	4.547	7.889	6.859	0.808	8.418	7.963	2.841	7.295

Le déplacement maximal horizontal du noeud 3 fait $v^* = 0.882 \cdot 10^{-3} \text{ m}$. Le nombre des approximations ayant l'approximation initiale $\{A_i^*\} = 100$ fait 27 itérations. Le diagramme sur la figure 2 montre la dépendance entre le déplacement v^* et la valeur V_0 . En utilisant cette courbe il est possible d'évaluer la valeur du déplacement maximal de la construction pour V_0 .

Evaluation de déplacement maximal d'un noeud constructif à condition de robustesse et ayant un volume imprécis

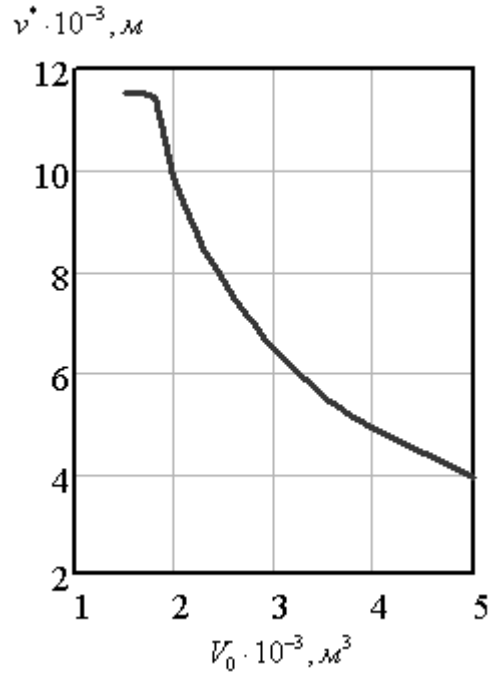


Fig. 2. L'influence de la valeur V_0 sur le déplacement v^*

5. Estimation de la valeur du déplacement du noeud à condition que le volume est donné de la manière imprécise

On s'intéresse par le cas où la valeur du volume V_0 dans le problème (2) est donnée de la manière inexacte en utilisant les mots "approximativement égal à ...", "un peu plus / moins", "environ" etc., sans la précision des chiffres.

La solution du problème pareil est possible dans le cadre de la réalisation des étapes suivantes de la modélisation imprécise: la phasification, l'analyse, la déphasification.

5.1. Phasification

La première étape consiste en description des données imprécises des quantificateurs linguistiques à l'aide de fonction d'appartenance des ensembles flous [2, 3, 5]. Pour la détermination on va considérer la fonction d'appartenance de la forme triangulaire

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x - \bar{a}}{\bar{m} - \bar{a}}, x \in [\bar{a}, \bar{m}] \\ \frac{\bar{b} - x}{\bar{b} - \bar{m}}, x \in [\bar{m}, \bar{b}] \\ 0, \forall x \notin [\bar{a}, \bar{b}], \end{cases} \quad (9)$$

ou $SuppA = [\bar{a}, \bar{b}]$ c'est le porteur de l'ensemble certain A , a m - sa valeur modale, c-à-d $\mu_A(m) = 1$. Pour l'exemple calculé on présume que le volume V_0 est un ensemble flou A , qui est généré par la fonction $\mu_A(x)$ de (9) avec $\bar{a} = 1.8$; $\bar{b} = 2.7$ et 10 niveaux de l'intervalle $[0,1]$ avec l'espace $\Delta\mu = 0.1$

Le graphique de fonction $\mu_A(x)$ est représenté sur la fig. 3.

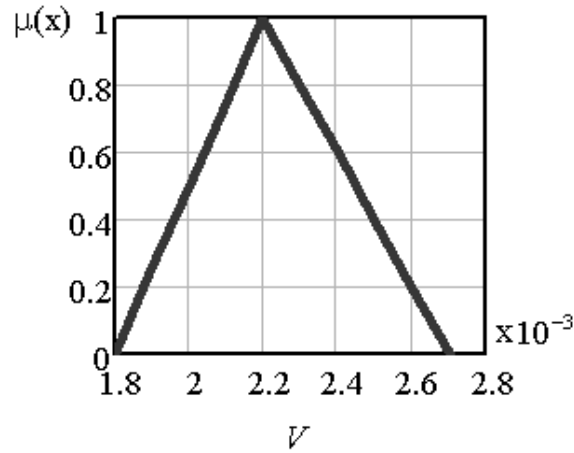


Fig.3. Le volume en forme du nombre imprécis triangulaire, m³

$$A = \frac{0}{1.8} + \frac{0.1}{1.84} + \frac{0.2}{1.88} + \frac{0.3}{1.92} + \frac{0.4}{1.96} + \frac{0.5}{2.0} + \frac{0.6}{2.04} + \frac{0.7}{2.08} + \frac{0.8}{2.12} + \frac{0.9}{2.16} + \frac{1}{2.2} + \frac{0.9}{2.25} + \frac{0.8}{2.3} + \frac{0.7}{2.35} + \frac{0.6}{2.4} + \frac{0.5}{2.45} + \frac{0.4}{2.5} + \frac{0.3}{2.55} + \frac{0.2}{2.6} + \frac{0.1}{2.65} + \frac{0}{2.7} \quad (13)$$

5.2. Optimisation

On calcule selon la procédure de programmation dynamique le déplacement maximal v^* pour chaque volume V_0 - les dénominateurs des composants de l'ensemble flou A de (13). On obtient alors l'ensemble flou $B(\mu, v)$ (14), avec la fonction d'appartenance qui est représentée sur la fig. 4.

Evaluation de déplacement maximal d'un noeud constructif à condition de robustesse et ayant un volume imprécis

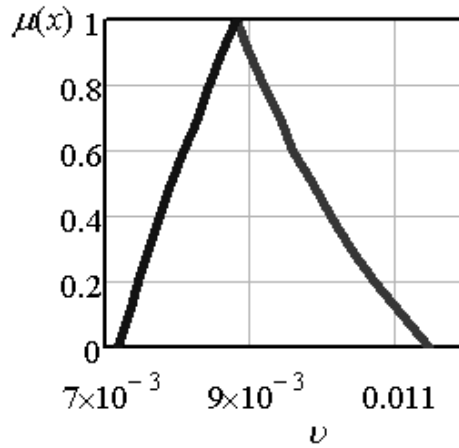


Fig.4. Le déplacement du noeud (en forme du nombre imprécis, μ) 3 dans la direction de l'action de la force extérieure

$$B = \sum_{i=1}^{21} \frac{\mu_i}{v_i^*} = \frac{0}{0.01147} + \frac{0.1}{0.01108} + \frac{0.2}{0.01072} + \frac{0.3}{0.01040} + \frac{0.4}{0.01011} + \frac{0.5}{0.00985} + \frac{0.6}{0.00961} + \frac{0.7}{0.00939} + \frac{0.8}{0.00918} + \frac{0.9}{0.00900} + \frac{1}{0.00882} + \frac{0.9}{0.00862} + \frac{0.8}{0.00844} + \frac{0.7}{0.00826} + \frac{0.6}{0.00808} + \frac{0.5}{0.00792} + \frac{0.4}{0.00776} + \frac{0.3}{0.00761} + \frac{0.2}{0.00746} + \frac{0.1}{0.00732} + \frac{0}{0.00719} \quad (14)$$

$$\Delta = \frac{|\text{df} - \text{num}|}{\text{df}} \cdot 100\%$$

5.3. Dephasification

Cette étape vise à transformer le nombre imprécis (14) dans le nombre déterminé. Cette operation peut être réalisée par la méthode du centre [6]

$$v^{\text{def}} = \frac{\sum_{i=1}^{21} \mu_i v_i^*}{\sum_{i=1}^{21} \mu_i}, \quad (15)$$

ou par la méthode de B. Liu [2]

$$v^{\text{def}} = \sum_{i=1}^{21} w_i v_i^*, \quad (16)$$

Où les facteurs de poids statistique sont calculés d'après l'expression

$$w_i = w_i(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m); m = 2M - 1, \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \text{ou } w_1 &= \frac{1}{2}(\beta_1 + A_0 - B_0), \text{ pour } i=1; w_i = \frac{1}{2}(C_0 - D_0 + Q_0 - S_0), \text{ pour } 2 \leq i \leq m-1; \\ w_m &= \frac{1}{2}(A_0 - P_0 + \beta_m), \beta_i = \mu_i; A_0 = \max_{1 \leq j \leq m} \beta_j; B_0 = \max_{1 < j \leq m} \beta_j; C_0 = \max_{1 \leq j \leq i} \beta_j; \\ D_0 &= \max_{1 \leq j < i} \beta_j; S_0 = \max_{1 < j \leq m} \beta_j; Q_0 = \max_{i \leq j \leq m} \beta_j; P_0 = \max_{i \leq j < m} \beta_j; M - \text{ le nombre des niveaux } \beta; \\ &0 \leq \beta_j \leq 1; 1 \leq j \leq M. \end{aligned}$$

5.4. Les resultats calculés

Selon la première méthode nous avons obtenu le chiffre $\nu^{def} = 8.845 \cdot 10^{-3}$ m, selon la deuxième - $\nu^{def} = 8.902 \cdot 10^{-3}$ m. Ayant les valeurs déterminées de données initiales nous avons obtenu $\nu^{det} = 8.82 \cdot 10^{-3}$ m. Ainsi la présence du déplacement augmente la valeur du déplacement.

6. Conclusions

1. Nous avons formulé la résolution du problème de l'évaluation du déplacement maximal du noeud d'un système élastique à barre articulée déterminé statiquement (STAS) ayant la satisfaction des conditions de la robustesse ; de la stabilité et d'un volume donné de construction V_0 . Nous avons appliqué la méthode de remplacement des barres pour l'analyse de l'état de contrainte et la méthode de programmation dynamique pour l'optimisation. On a obtenu les estimations de la valeur du déplacement horizontal du noeud 3 en dépendance du volume donné.

2. Ayant donné le volume de la construction de la manière imprecise on a obtenu le déplacement imprécis du noeud 3 avec la fonction d'appartenance correspondante. Les résultats de dephasification ont montré la tolérance du système au paramètre indéfini donné.

References

- [1]. Augusti G., Baratta A., Cusiati F. Probabilistic methods in structural engineering. - London- New York, Chapman and Hall. 1984, 584p
- [2]. Liu B. Uncertain programming. Wiley, N-Y, 1999. 430 p.
- [3]. Zadeh L. Fuzzy sets . Information and Control, 8.- 1965 P. 338 - 353.
- [4]. Baranenko V.A. Optimal design truss in conditions of fuzzy load by expected value models and dynamic programming // Theoretical Foundation of Civil Engineering XIV/ Ed. by W.Szczesniak, OW PW, Warsaw. – 2006. – pp. 495-498.
- [5]. Saveliev, L. M. Mécanique des navires aériens: Manuel / L. M. Saveliev, J. V. Skvortsov, S. V. Gluchkov; L'Université aérospatial d'état S. P. Korolev de Samara, 2011. - 235 p.
- [6]. Rutkovskaya D., Pilinsky M., Rutkowski L. Réseaux de neurones, algorithmes génétiques et systèmes flous -M.: Hot line- Telecom.-2008 .- 383 p.

REVISTA ROMÂNĂ DE INGINERIE CIVILĂ INCLUDE ARTICOLE DIN URMĂTOARELE DOMENII

ROMANIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING INCLUDE ARTICLES FROM THE FOLLOWING AREAS

- | | |
|--|---|
| . Mecanica structurilor | . Mechanics of structures |
| . Inginerie seismică și siguranța construcțiilor | . Seismic engineering and construction safety |
| . Inginerie urbană și dezvoltare regională | . Urban engineering and regional development |
| . Construcții civile | . Civil buildings |
| . Căi de comunicații, poduri și tunele | . Communication ways, bridges and tunnels |
| . Căi ferate | . Railways |
| . Drumuri și aeroporturi | . Roads and airports |
| . Construcții din beton armat | . Reinforced concrete buildings |
| . Construcții metalice | . Metal constructions |
| . Geotehnică și fundații | . Geotechnics and foundations |
| . Alimentări cu apă și canalizare | . Water supply and sanitation |
| . Tratarea apei | . Water treatment |
| . Epurarea apelor uzate | . Wastewater treatment |
| . Construcții hidrotehnice | . Hydro construction |
| . Îmbunătățiri funciare | . Land improvements |
| . Hidraulică și mecanica fluidelor | . Hydraulics and Fluid Mechanics |
| . Hidrologie, hidrogeologie și gospodărirea apelor | . Hydrology, hydrogeology and water management |
| . Protecția mediului în inginerie civilă | . Environmental protection in civil engineering |
| . Instalații pentru construcții | . Building services |
| . Management în construcții | . Construction Management |
| . Calitatea mediului interior | . Indoor environmental quality |
| . Acustica clădirilor și a instalațiilor | . Acoustic of buildings and installations |
| . Energetica clădirilor și instalațiilor | . Energy of buildings and installations |
| . Geodezie, fotogrammetrie, cartografie | . Geodesy, photogrammetry, cartography |
| . Termotehnică | . Thermotechnics |
| . Mașini și utilaje pentru construcții | . Constructions machinery |
| . Mecanică tehnică și vibrații | . Technical mechanics and vibrations |
| . Electrotehnică | . Electrotechnics |
| . Ingineria calității | . Quality engineering |
| . Științe fundamentale în inginerie civilă | . Fundamental science in civil engineering |

INFORMATION FOR AUTHORS

- For the works proposed for publication in the Romanian Journal of Civil Engineering, there are no costs for the author to analyze the manuscript and / or publish the article
- The publication of the article is conditional on its analysis in a peer-review process, as mentioned at <http://www.rric.ro/etica.php>; the author is required to participate in the peer-review process
- The article proposed for publication in the Romanian Journal of Civil Engineering has not been published and can no longer be published in another journal. If portions of content overlap with published content or for publication in another journal, the author must recognize and quote these sources
- Send to publish of an article implies that the study described in the article is original and does not infringe copyright. In the necessary circumstances, the author has to recognize and quote content reproduced from other sources after having previously obtained permission to reproduce the required content from other sources
- If there are more than one author, the content of the article is known and approved by all authors who contributed to writing the article and / or performing the research described in the paper
- All authors of an article should make a significant contribution to its writing
- The proposed article for publication will contain bibliographical references, as well as references to financial support, if any
- In the event of an error being reported in the paper after its publication, the author is required to cooperate with the Editorial Board and the publisher to publish an errata, an addendum, a corrigendum notice, or to withdraw the work if this is considered necessary.

At http://www.rric.ro/template/rric_template.doc there is the template where the proposed article should be sent for publication; the article is sent by email to office@matrixrom.ro or uploaded directly from the journal's website <http://www.rric.ro/autori.php>.

INFORMAȚII PENTRU AUTORI

- Pentru lucrările propuse spre publicare în Revista Română de Inginerie Civilă nu există costuri ale autorului pentru analiza manuscrisului și/sau pentru publicarea articolului
- Publicarea articolului este condiționată de analiza acestuia într-un peer-review proces, așa cum este menționat la <http://www.rric.ro/etica.php>; autorul este obligat să participe la procesul de peer-review
- Articolul propus pentru publicare în Revista Română de Inginerie Civilă nu a mai fost și nu mai poate fi publicat într-o altă revistă. Dacă porțiuni de conținut se suprapun cu conținut publicat sau trimis spre publicare la o altă revistă, autorul trebuie să recunoască și să citeze aceste surse.
- Trimiterea către publicare a unui articol implică faptul că studiul descris în articol este original și nu încalcă drepturile de autor. În situațiile necesare autorul trebuie să recunoască și să citeze conținutul reprodus din alte surse, după ce a obținut anterior permisiunea de a reproduce conținutul necesar din alte surse.
- În cazul în care există mai mulți autori, conținutul articolului este cunoscut și aprobat de toți autorii care au contribuit la scrierea articolului și/sau la realizarea cercetării descrise în lucrare.
- Toți autorii unui articol trebuie să aibă o contribuție semnificativă la elaborarea acestuia
- Articolul propus pentru publicare va conține referințe bibliografice, precum și mențiuni referitoare la suportul financiar, dacă este cazul
- În cazul semnalării unor erori în lucrare, după publicarea acesteia, autorul este obligat să coopereze cu Colegiul Editorial și cu editura pentru a publica o erată, o addendum, o notificare de corrigendum sau pentru a retrage lucrarea, în cazul în care acest lucru este considerat necesar.

La adresa http://www.rric.ro/template/rric_template.doc se găsește formatul (template) în care trebuie trimis articolul propus pentru publicare; articolul se trimite prin email la adresa office@matrixrom.ro sau se încarcă (upload) direct din website-ul revistei, secțiunea pentru autori <http://www.rric.ro/autori.php>.