

Audit and Modernisation of Lighting in Gdynia – Energy Efficiency and Environmental Impact

Author

Tomasz Józef Demianiuk

Keywords

energy efficiency audit, street lighting modernisation, CO₂ emission reduction, lighting uniformity improvement, energy-saving LED luminaires, street lighting impact on the ecosystem, increasing road users' safety standard

Abstract

Lighting modernisation effectively reduces electricity costs. LED luminaires' optics enable targeting a light beam exactly where it is needed. Light colour and uniformity selection options provide comfortable conditions for driving vehicles and using the city space. The main reason for luminaire replacement is the financial gain from using energy-saving luminaires. However, this modernisation also improves the safety and comfort of life. Besides, the light beam of the LED luminaires is eye-friendly and as close to natural daylight as possible. This light colour allows us to correctly assess the distance to other objects and people at night. The environmental aspect is also important. LED luminaires are made without elements harmful to the environment. Due to the reduced electricity consumption, less CO₂, sulfur, and nitrogen compounds, as well as other toxic substances are released into the atmosphere. The energy and environmental benefits of modernising luminaires in Gdynia are discussed below.

DOI: 10.12736/issn.2330-3022.2020202

Received by the editor: 10.08.2020

Received in revised form: 7.09.2020

Accepted: 23.09.2020

Published online: 21.12.2020

1. Legal basis and explanation of terms

The legal basis for energy efficiency auditing¹ are national and European legal acts and regulations containing the principles of implementing legal provisions in practice. The most important document governing the audits is *Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012*. This document has amended previous EP directives in this respect. The Sejm [Parliament] of the Republic of Poland adopted this directive into national law through the *Act of May 20, 2016, on energy efficiency* (Journal of Laws of 2016, item 831). The legislator specified that the term energy efficiency audit should be understood as "a study containing an analysis of energy consumption and specifying the technical condition of a facility, technical device or installation, containing a list of projects aimed at improving the energy efficiency of a facility, technical device or installation, as well as an assessment of their economic viability and possible

energy savings" (Art. 2, point 1). Implementing regulations were issued to the act, of which the following should be distinguished:

- *Notice of the Minister of Energy of 23 November 2016 on the detailed list of projects aimed at improving energy efficiency* (Monitor Polski of 2016, item 1184)
- *Regulation of the Minister of Energy of 5 October 2017 on the detailed scope and execution method of an energy efficiency audit and energy saving calculation methods* (Journal of Laws of 2017, item 1912)

These regulations define in detail the auditing conditions and rules. In the definition of audit in the Act, it is worth distinguishing the term indicating the purpose of an energy (lighting) efficiency audit, namely "containing a list of measures aimed at improving". The primary objective of the audit is not only to gain knowledge of the technical state of energy and lighting equipment or infrastructure but above all to identify proposals for corrective actions

¹ The issue of energy efficiency audit is introduced by M. Hajduk-Stelmachowicz in *Audyty energetyczne przedsiębiorstw jako wyzwanie w kontekście poprawy efektywności energetycznej* [Energy audit of enterprises as a challenge in the context of improving energy efficiency], *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* [Scientific Papers of the Institute of Mineral and Energy Management, Polish Academy of Sciences] 2018, No. 104, pp. 46 et seq.

and to determine their cost-effectiveness². It is therefore important that the street lighting audit includes a package of several proposals to improve the condition of lighting equipment so that the auditor can assess and choose a path to improve the existing situation.

Several key concepts related to the energy (lighting) efficiency audit are worth explaining:

Energy efficiency

Energy efficiency is defined as the ratio of the increase in the utility effect of a facility, technical device, or installation, under typical conditions of its use or operation, to the energy consumed by this facility, technical device or installation, or as a result of the service rendered necessary to achieve this effect³. For example, to measure the efficiency of street lighting, the light intensity, lighting uniformity, and luminous flux need to be measured, and then the cost of energy consumption, maintenance, and replacement of light sources need to be analysed. This results in determining the proportionality of the effect obtained to the costs incurred.

Utility effect

According to the legislator⁴, this is the effect caused by the supply of energy to a facility or space to enable the performance of a work, ensure comfort and safety of users, as well as adequate additional lighting of specific surfaces.

Primary energy

The Act of 25 August 2006 on the biocomponents and liquid biofuels defines this term as the energy content of a primary energy carrier. It is obtained from the natural environment (coal, crude oil, high-methane natural gas, fuel peat) and the forces of nature, i.e. water, wind, sun, geothermal energy⁵.

Final energy

In accordance with Art. 3. 1 and 3 of the Act of 10 April 1997 – *The Energy Law*⁶, final energy means the energy consumed by the final recipient. According to the law, this term defines:

- processed energy in any form
- thermal energy in hot water, steam, or other media
- solid, liquid, and gaseous fuels that are carriers of chemical energy
- gaseous fuels – high-methane or nitrogen-rich natural gas, including liquefied natural gas and propane-butane or other types of combustible gas, supplied via the gas network, as well as agricultural biogas, regardless of their purpose
- liquid energy carriers, including those containing additives (e.g. refinery intermediates, LPG, pyrolysis gasoline, motor gasoline, aviation gasoline, jet gasoline, jet kerosene fuels, other kerosene, diesel oils, light fuel oils and other diesel oils, heavy fuel oils, white spirit, and industrial spirit, etc.).

Energy saving

The semantic scope of this definition includes the difference between the energy consumed to perform specific tasks before

the modernisation, and the energy that will be consumed to perform the same tasks after modernisation. In calculating energy savings, it is also necessary to consider the standardised external conditions which affect energy consumption⁷. In the case of a lighting audit, the savings are calculated as the difference between the costs of maintaining the lighting system before modernisation (energy supply and distribution, maintenance and replacement of light sources) and the costs of maintaining the same system after replacing the luminaires, with the assumption of retaining the same or better level of lighting the streets and squares.

2. Energy efficiency audit

The first step towards modernisation is to carry out an audit to identify measures to improve energy efficiency. These issues are governed by the *Notice of the Minister of Economy of 21 December 2012*, and the *Notice of the Minister of Energy of 23 November 2016 on the detailed list of measures to improve energy efficiency*⁸. These documents assume that the recommended measures to improve the efficiency of outdoor lighting include:

- replacement of lighting fixtures and the necessary equipment with energy-saving luminaires
- deployment of intelligent lighting control systems (e.g. DALI system, integrated control systems, system power regulation depending on the time of day) depending on specific needs and local conditions
- low-consumption power supply systems.

As already mentioned, the street lighting audit assumes the coexistence of two elements, i.e. assessment of the street lighting technical condition and power consumption, and analysis of the expected effects. The material basis for the audit is an inventory and assessment of the lighting equipment's current condition. With data collected from the inventory, a database is created, based on which the energy, financial, and/or environmental effects can be calculated, and the objectives verified. A well-executed inventory allows the preparation of adequate calculations and assumptions. A description of the lighting system's current condition allows for an accurate calculation of the consumption.

The energy consumption can be calculated from the luminaires' rated power or catalogue cards. Where reliable data cannot be obtained from the documentation, measurements should be made. In the case of street lighting, measurements of the electricity consumption and light intensity should be considered. This is justified and necessary, as the light efficiency of light sources decreases with the passage of time and weather impact, and the risk of failure to meet the lighting standard becomes real⁹.

² Cf. B. Rogosz, M. Rogosz, D. Pułaczewska, *Oczekiwania społeczne dotyczące oświetlenia miejskiego a nowoczesne technologie oświetlenia* [Social expectations for city lighting and modern lighting technologies], *Górnictwo Odkrywkowe* 2018, No. 6, p. 63.

³ Cf. M. Hajduk-Stelmachowicz, *Audyty energetyczne przedsiębiorstw...*, op. cit., p. 45.

⁴ J. of L. of 2016, item 831.

⁵ J. of L. of 2015, item 775 and of 2016 item 266.

⁶ J. of L. of 1997, No. 54, item 348.

⁷ Cf. M. Hajduk-Stelmachowicz, *Audyty energetyczne przedsiębiorstw...*, op. cit., p. 50.

⁸ *Monitor Polski* of 2016, item 1184.

⁹ Cf. B. Rogosz, M. Rogosz, D. Pułaczewska, *Oczekiwania społeczne...*, op. cit., p. 67.

Calculating energy savings is a quite simple process. It consists of calculating the total power of the lighting system or its part. The power of the new lighting system must then be aggregated. The difference between these two values is the energy savings over a specific period. It is worth mentioning that when calculating energy savings in the case of lighting audits, it is always assumed that the new lighting system will warrant the light intensity level (measured in lux) compliant with the PN-EN-13201-2 standard¹⁰. When calculating savings, it is also important to remember that the correct way to calculate energy consumption is not simply to sum up the power of light sources, but to sum the powers of luminaires, which takes into account not only the power of light sources but also the potential sum of power losses.

Inventory of a street lighting system means not only a numerical list of the luminaires, their powers, used light sources, technical condition, etc. The second purpose of the inventory, besides energy, is to identify geographical, geometric, and topographical details concerning the lighting infrastructure. A proper inventory should consider such data as the number of lighting poles, the distance between them, height, length of the outreach arms, angle of mounting the luminaire, the distance between the pole and the carriageway, the occurrence of lighting obstacles (trees, buildings, other architectural elements), terrain shape and the road class. As a rule, the road class is determined by the road administrator, but where it is not specified, it can be determined during the inventory by recurrent lighting situations¹¹.

Sometimes the problem may be a lack of data on switch-on and switch-off times of some elements of the system on certain days or seasons. In such cases, for the correct calculation of energy savings, the state of full illumination of the installed devices should be assumed. The audit experience proves that there may be situations driven by the wish to obtain immediate benefits, whereby, for example, every second luminaire is switched off or luminaires with greater and lesser power are alternatively repeated. In the first case, to obtain correct calculations, for the switched-off luminaires the values such as for the switched-on luminaires should be adopted. Where the installed luminaires' powers differ, the powers of all installed luminaires should be described separately and then added up.

The last expectation of the audit is to present several modernisation proposals, which allows the audit contracting authority to choose the best option.

There is a high risk of errors and miscalculations when preparing audit documentation. The most common errors include:

- specification in the photometric file the power of the LED matrix without taking into account the power losses in its power supply unit

- specification of the luminaire's flux without taking into account losses in its optical system
- determination of the light distribution for the LED matrix, not the entire luminaire
- omission in the photometric file of the luminaire dimensions (the luminaire mounting height and the light point height of the non-compliant with the luminaire catalogue card)
- creation of photometric files for the entire luminaire family based on the tested curve of one type, where e.g. a luminaire with 10 LEDs has the same characteristics as a luminaire with 30 LEDs. The only change in the photometric file is that of the luminaire flux and power.
- assumption of the luminaire suspension angle above 15° (glare problem)
- assumption of the luminaire inclination angle at an unusual value that is difficult to reproduce in reality (e.g. 7,5°; 8,6°)
- assumption of the unusual length of the luminaire outreach arm for calculations (e.g. 1.436 instead of 1.5 m)
- distinguishing between the luminaire mounting height and the luminaire's light point height
- omission of other areas belonging to the road, e.g. sidewalk, bicycle path, parking lane, pedestrian crossing¹².

A lighting audit with a design can be a valuable source of knowledge about the street lighting condition and the potential to improve many aspects of its performance. The correctness of the calculations, the reliability of the work carried out and the proper inventory allow for the competent preparation of the modernisation, which will take into account energy savings and ensure the maintenance of lighting in accordance with the standards.

3. The lighting audit in Gdynia

As part of the long-term cooperation between the local government of Gdynia and Energa Oświetlenie, various projects were implemented concerning not only the maintenance of lighting in this city but also the addition of lighting infrastructure, additional lighting of pedestrian crossings, and other activities to improve safety and comfort of users of Gdynia's roads and squares. At the end of 2019, negotiations began on a contract for the provision of comprehensive lighting services in the city of Gdynia until the end of 2023. During the talks, a plan was presented to generate savings and improve lighting efficiency. It consisted of modernising 30% of street lighting luminaires in Gdynia. 5560 high-pressure sodium luminaires were selected for replacement by LEDs. The basis for the launch of modernisation activities was the signing of an agreement between the city of Gdynia and Energa Oświetlenie on 31 December 2019. It was assumed that the modernisation works would be carried out and completed by 30 June 2020¹³.

¹⁰ More on this subject in P. Jaskowski, P. Tomczuk, Ustalenie klasy luminacyjnej jezdni z wykorzystaniem alternatywnych urządzeń pomiarowych [Determining the carriageway luminance class with the use of alternative measuring devices, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej [Scientific Works of the Warsaw University of Technology]* 2018, No. 121, p. 106.

¹¹ Ibid.
¹² Errors of this type are catalogued and discussed in detail by W. Pabjańczyk, Audyty i projekty oświetlenia drogowego jako podstawa efektywnej realizacji inwestycji drogowej – wymagania i ograniczenia praktyczne [Road lighting audits and designs as the basis for the effective implementation of road capex projects – practical requirements and limitations], proceedings of the 13th Conference "Oświetlenie dróg i miejsc publicznych – sposoby zarządzania systemami oświetlenia [Lighting of roads and public places – ways to manage lighting systems]", PTPIREE 2018, p. 87.

¹³ All data from the study "Audyt efektywności energetycznej nr 1-2020 dla przedsięwzięcia zrealizowanego. Modernizacja oświetlenia drogowego na terenie miasta Gdyni, [Energy efficiency audit No. 1-2020 for the implemented project. Road lighting modernisation in Gdynia], Sopot 2020.

The first stage of the work was a lighting audit of the luminaires to be replaced.

The audit was conducted based on

- contract with the Gdynia City Office
- Lighting Standard PN-EN 13201 Road lighting
- inventory of luminaires in the field
- detailed arrangements with the contracting authority.

The scope of the audit in Gdynia included:

- lighting network inventory
- selection of street lighting classes for all locations covered by the modernisation
- selection of luminaires for the above-mentioned locations
- indication of the illumination reduction range
- audit-related calculations of installed capacity, electricity consumption and its costs before and after the modernisation, gas emission reduction effect in Mg CO₂/year
- analysis of the calculations of installed capacity, electricity consumption, and its costs before and after the modernisation
- indication of the payback time.

The legal basis for the audit activities was the following provisions:

- PN-EN 13201: 2015 Road lighting – Part 1: Selection of lighting classes
- PN-EN 13201: 2015 Road lighting – Part 2: Performance requirements
- PN-EN 13201: 2015 Road lighting – Part 3: Calculation of performance
- PN-EN 13201: 2015 Road lighting – Part 4: Methods of measuring lighting performance
- *Regulation of the Minister of Energy of 5 October 2017 on the detailed scope and execution method of an energy efficiency audit and energy saving calculation methods*¹⁴
- *Regulation of the Minister of Transport and Maritime Economy on the technical conditions to be met by public roads and their location*¹⁵.

In light of the above-mentioned standards and regulations, several classes of roads and sidewalks lighting may be distinguished. There are three basic types of lighting classes:

- ME – lighting for the roads used by drivers of motor vehicles on routes with medium to high speeds
- CE – lighting for roads and other surfaces (e.g. sidewalk) used by motor vehicle drivers and other users in conflict zones, e.g. high-complex intersections, shopping streets, etc.
- S – lighting for pedestrians and cyclists walking or riding on sidewalks, bicycle paths, etc.

The luminaires' inventory was made both directly in the field and the GIS (Geographic Information System). The works carried out as part of on-site inspection allowed for the additional collection of information on roads, sidewalks, parking lots, green belts, bicycle paths, pedestrian crossings, and other factors relevant to the audit. Of course, the heights of the poles were measured, and their technical condition was described. The pole outreach arms (lengths and angles in relation to the

Luminaires before replacement		Rated luminaire power before modernisation	Total power of the luminaire type (MW)	Annual consumption (MWh)
Type	Quantity			
SGS 203 – 70 W	79	84	6.636	27.54
Ambar 2 – 70	80	83	6.64	27.56
Sintra 1 – 70 W	93	84	7.812	32.42
SGP 340 – 70 W	4	78	0.312	1.29
OUSc-70	749	81	60.669	251.78
Ambar 2 – 100	71	114	8.094	33.59
SGS 203 – 100 W	331	114	37.734	156.60
SGP 340 – 100 W	9	106	0.954	3.96
OUShe-100	323	114	36.822	152.81
Sintra 1 – 100	106	115	12.19	50.59
OUR 125	71	137	9.727	40.37
Ambar 2 – 150	149	167	24.883	103.26
SGP 340 – 150 W	6	160	0.96	3.98
SGS 203 – 150 W	2837	167	473.779	1966.18
Sintra 1 – 150	72	168	12.096	50.20
OUS-150	41	170	74.97	311.13
SGP 340 – 250 W	11	273	3.003	12.46
SGS 203 – 250 W	66	273	18.018	74.77
Sintra 2 – 250 W	11	273	3.003	12.46
OUS-250	46	276	12.696	52.69
OUS-400	5	435	2.175	9.03
Total	5560		813.17	3374.67

Tab. 1. List of the luminaires and the power of the lighting system part to be modernised

pole) were also inventoried, as well as details of the luminaires mounting method (e.g. their optics, beam angle, presence of reflectors). The inventory covered 5,560 street luminaires along the main Gdynia transportation routes (e.g. Kościuszko Square, 3 Maja, Władysława IV, A. Abrahama, Powstańców Styczniowych, 10 Lutego streets, Al. Piłsudskiego).

In all cases, the inventory covered luminaires with high-pressure sodium light source (HPS). For the audit, the luminaires were grouped according to the light source power, although the losses on the electromagnetic ballast were considered. Hence, for the energy savings calculation, 115% of the light source power was assumed as the luminaire power. Assuming such parameters, the total power of the installed lighting system was calculated.

The scope of the modernisation was agreed by Energa Edukacja with representatives of the city of Gdynia as the road lighting a user. 5,560 luminaires were selected in the city. Before the modernisation, roads and streets were mainly lighted by older luminaires with energy-intensive sodium and mercury light sources. At the time of their installation, these were the luminaire types commonly used for street lighting, to provide the required luminous flux.

¹⁴ J. of L. of 2017, item 1912.

¹⁵ J. of L. of 2016, item 124.

Luminaires after replacement		Rated power of luminaire – system after modernisation	Total power of the luminaire type (MW)	Annual consumption (MWh)
Type	Quantity			
BDP265 1 x LED64-4S/740 DW50	140	38.5	5.39	22.37
BGP281 T25 1 x LED30-4S/740 DN09	110	20	2.2	9.13
BGP281 T25 1 x LED35-4S/740 DM12	104	22	2.288	9.50
BGP281 T25 1 x LED39-4S/740 DN09	484	24.5	11.858	49.21
BGP281 T25 1 x LED44-4S/740 DN09	619	28	17.332	71.93
BGP281 T25 1 x LED49-4S/740 DN09	848	31	26.29	109.09
BGP281 T25 1 x LED54-4S/740 DM12	261	34.5	9.0045	37.37
BGP281 T25 1 x LED59-4S/740 DN09	267	38	10.146	42.105
BGP281 T25 1 x LED64-4S/740 DM11	732	42	30.744	127.59
BGP282 T25 1 x LED109-4S/740 DM12	228	67	15.276	63.40
BGP282 T25 1 x LED119-4S/740 DM12	179	74	13.246	54.97
BGP282 T25 1 x LED74-4S/740 DM12	97	45.5	4.4135	18.32
BGP282 T25 1 x LED80-4S/740 DM12	267	50	13.35	55.40
BGP282 T25 1 x LED84-4S/740 DM11	154	53	8.162	33.87
BGP282 T25 1 x LED89-4S/740 DM11	319	56	17.864	74.135
BGP282 T25 1 x LED94-4S/740 DM11	139	60	8.340	34.611
BGP283 T25 1 x LED-HB 22000 lm-4S/740	60	130	7.8	32.37
Other luminaires	552		30.2522	125.546
Total	5560		234.0059	971.12

Tab. 2. Ordered listing of solutions adopted as part of the modernisation

#	Municipality	Annual consumption before modernisation (MWh)	Annual consumption after modernisation (MWh)	Final energy savings		Primary energy savings	
				MWh	toe	MWh	toe
1	Gdynia	3,374.67	971.12	2,403.54	206.67	6,008.86	516.67
TOTAL		3,374.67	971.12	2,403.54	206.67	6,008.86	516.67

Tab. 3. Annual consumption before and after modernisation with savings

4. The energy saving in Gdynia

The main purpose of the audit, apart from inventorying the luminaires, was also to present a calculation of the energy savings resulting from the modernisation. The first step was to determine the energy intensity of the existing street lighting system. For the energy consumption analysis, the rated powers of light sources and ignition systems were adopted, which allowed obtaining the total rated power of the luminaires.

In accordance with Tab. 6 of Appendix 2 to the *Regulation of the Minister of Energy of 5 October 2017*¹⁶, the standard annual lighting time of the luminaires was adopted at 4,150 hours. Besides the luminaires' rated power and operating time, their service life (replacement, disposal, etc.) was also considered an important factor for the energy efficiency calculation.

The modernisation was planned as a 1:1 replacement of the luminaires. For specific classes of road and lighting situations, new luminaires were proposed, which were to ensure compliance with the standard and reduce energy consumption.

The final energy saved as a result of the modernisation of luminaires was calculated based on Appendix 2, point 1.1 to the *Regulation of the Minister of Energy of 5 October 2017 on the detailed scope and execution method of an energy efficiency audit and energy saving calculation methods*, in the part related to lighting luminaires or light sources and defined by the formula:

$$\Delta Q_0 = T_u(M_0 - M_1)/1\,000\,000$$

As already mentioned, the rated power of the previous lighting system was 813.17 MW. As a result of the modernisation, the rated power of the luminaires is 234.01 MW. Assuming the annual lighting duration of 4150 hours, the total final energy saved is 2403.54 MWh per year.

The primary energy saving was calculated using the non-renewable primary energy factor w_p , w_{el} specified in the table in the *Regulation of the Minister of Energy of 5 October 2017*, which for electricity from the power system grid is $w_{el} = 2.5$. The basis for the primary energy saving calculation is the formula:

$$\Delta Q_p = \Delta Q_0 \times w_{el}$$

¹⁶ J. of L. of 2017, item 1912.

With the primary energy savings evaluated at 2403.54 MWh, the primary energy savings can be easily calculated at 6008.85 MWh per year.

The energy savings were also denoted in tonnes of oil equivalent (toe). It is the energy equivalent of one ton of crude oil with a calorific value of 10,000 kcal/kg. This unit is used primarily in power engineering to describe large energy values. The International Energy Agency (IEA) and the Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) define 1 toe as 11,630 kWh, i.e. 11.63 MWh. Detailed calculations are presented in the table.

5. Environmental issues

Among the many positive aspects of lighting modernisation, its environmental impact is also worth discussing. With modernisations, electricity consumption is significantly reduced. This automatically reduces the emission of CO₂ and other harmful chemical compounds to the atmosphere. Rarely noticed, but still very important for the environment, is also the fact that by beaming the light directly to illuminated surfaces, without the light pollution effect, the welfare of nocturnal animals is improved and the photosynthetic cycle of plants is regulated.

The primary effect of the modernisation is the reduction of emissions of CO₂, as well as sulfur and nitrogen oxides, carbon monoxide, and total dust. The emission reduction is calculated based on the product benchmarks used in the evaluation of changes in the environmental impact of each economic sector. They are also used in emission forecasts, as well as environmental impact calculations, for upgrades and other projects resulting in emission reduction. It is important to determine the emissivity of electricity generation, in particular the emissions of CO₂, SO₂, NO_x, CO, and total dust at the generation of one megawatt-hour of electricity. To determine the environmental effect of the modernisation in Gdynia, the product benchmarks reported by the National Centre for Emission Management (KOBiZE) to the Institute of Environmental Protection – National Research Institute (IOŚ – PIB) were adopted to the database of emissions of greenhouse gas and other substances from the fuel combustion plants, which in 2018 produced only electricity or electricity and heat (plants producing only heat were not taken into account). All fuels were considered, including renewable ones, which were used in combustion processes and were responsible for the emissions of the considered pollutants.

In addition, product benchmarks were also determined for the electricity consumed by end-users, i.e. after consideration of

all electricity produced in the country, regardless of the type of plant (fuel-burning plants and energy from renewable energy sources – so-called RES) and electricity transmission and distribution losses. The product benchmarks are presented in the Tab. 4. With the energy consumption savings, after the modernisation in Gdynia, 1838.71 tons of CO₂ less is released into the atmosphere per year. The emission of toxic sulfur compounds has been reduced by 1,636.81 kg per year, and nitrogen compounds harmful to humans and the natural environment by 1,516.63 kg per year. The luminaire replacement also reduced the release of CO (carbon monoxide) into the atmosphere. Thanks to the energy efficiency of the new lighting system, the emission of carbon monoxide into the atmosphere will decrease by 660.97 kg per year. Also important is the reduction of the emission of total dust polluting the natural environment – after the modernisation, in each year of the new lighting operation, almost 90 kg less of this dust will be released into the atmosphere.

When discussing the modernisation's other environmental aspects, it is also important to consider the positive effect of light on the comfort of the human eye, as well as the impact of the new lighting system on the life and welfare of animals and plants in the lighting installations vicinity. This is an especially important issue that allows a little broader approach to the issue of modernisation, and also helps to discover more advantages of the new lighting. The most important determinant of the selection of luminaires is always the safety and comfort of people (vehicle drivers, pedestrians, residents). The best light for the human eye is the natural sunlight at noon in the spring. It is light with a colour temperature of approx. 4000 K. It allows us to properly identify colours, perceive contours and shapes, and evaluate the proportions and distances between objects observed. The colour temperature of the light emitted by the sodium luminaires significantly differs from the natural light. As a rule, sodium lamps emit light at a temperature of approx. 2000 K. It is a yellow or golden-orange light. In the day cycle, this colour of light is typical for sunset in the autumn. To assimilate this type of light beam, the retina of the eye must make a considerable accommodative effort. The yellow colour of the light also distorts the proper differentiation of colours. It is also important that the sodium luminaires emit diffused light, which means that a large part of it is emitted into those areas where it is not needed at all. This is a phenomenon called littering with light pollution. This phenomenon harms the biorhythm of nocturnal animals. With LED luminaires, the light spectrum can be so selected that the luminaire emits light as close as possible to sunlight. It is an eye-friendly and non-blinding light, with a high colour rendering ratio. These features make the light from the LED luminaires safe for the eyes and ensure precise vision and comfort for road users. Using lenses, the light beam can be directed to those surfaces that require lighting. For nocturnal animals, this means regulating their circadian rhythms. The LED luminaires that beam the light directly to the designated surfaces minimizing the light flux scattering enable in cities to avoid the effect described by environmentalists as a permanent full moon. It consists of the fact that saturation with light at night disturbs migration routes,

Chemical compound	kg/MWh
CO ₂	765
SO _x /SO ₂	0.681
NO _x /NO ₂	0.631
CO	0.275
Total dust	0.036

Tab. 4. Product benchmarks for electricity consumed by end-users

feeding and hunting periods, prevents rest, or poses a direct threat from predators to nocturnal animals. Research is currently underway in Poland to verify the environmental impact of changing the optics of LED lighting.

A separate issue that should be addressed is also the impact of light on the safety of residents and road users. However, it is now too early to validly confirm such an impact, as supported by research. One can only rely on commonly available studies and the experience of other cities, which confirm the positive impact on the increased material and mental security of urban space users.

6. Conclusions

The modernisation of lighting in Gdynia is certainly one of the largest projects of this type undertaken by Energa Oświetlenie in 2020. With the professional implementation of the project, two main assumptions have been achieved: the energy efficiency of the street lighting system in Gdynia has been significantly improved and the emission of CO₂ and other chemical compounds has been significantly reduced. For the local government, this means a reduction in energy consumption, and for residents – better safety and comfort of using eye-friendly lighting. The new lighting also means a long-term warranty for effectiveness and reduced maintenance and replacement costs of light sources.

REFERENCES

1. Hajduk-Stelmachowicz M, Audyt energetyczny przedsiębiorstw jako wyzwanie w kontekście poprawy efektywności energetycznej [Energy audit of enterprises as a challenge in the context of

improving energy efficiency], *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN [Scientific Papers of the Institute of Mineral and Energy Management, Polish Academy of Sciences]* 2018, No. 104, pp. 43–53.

2. Rogosz B, Rogosz N, Pułaczewska D, Oczekiwania społeczne dotyczące oświetlenia miejskiego a nowoczesne technologie oświetlenia [Social expectations for city lighting and modern lighting technologies], *Górnictwo Odkrywkowe*, No. 6, 2018, pp. 61–70.
3. Jaskowski P, Tomczuk P, Ustalenie klasy luminacyjnej jezdni z wykorzystaniem alternatywnych urządzeń pomiarowych [Determining the carriageway luminance class with the use of alternative measuring devices], *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej [Scientific Works of the Warsaw University of Technology]*, No. 121, 2018, pp. 105–113.
4. Górczewska M., Oświetlenie dróg i ulic – wybrane zagadnienia [Lighting of roads and streets – selected issues], proceedings of XIII Conference „Oświetlenie dróg i miejsc publicznych – sposoby zarządzania systemami oświetlenia [Lighting of roads and public places – ways to manage lighting systems]”, PTPIREE, Wisła 2018, p. 59.
5. Pabjańczyk W, Audyty i projekty oświetlenia drogowego jako podstawa efektywnej realizacji inwestycji drogowej – wymagania i ograniczenia praktyczne [Road lighting audits and designs as the basis for the effective implementation of road capex projects – practical requirements and limitations], proceedings of the 13th Conference "Oświetlenie dróg i miejsc publicznych – sposoby zarządzania systemami oświetlenia [Lighting of roads and public places – ways to manage lighting systems]", PTPIREE 2018, p. 87.
6. Audyt efektywności energetycznej nr 1–2020 dla przedsięwzięcia zrealizowanego, Modernizacja oświetlenia drogowego na terenie miasta Gdyni [Energy efficiency audit No. 1–2020 for the implemented project. Road lighting modernisation in Gdynia], Sopot 2020.

Tomasz Józef Demianiuk

Energa Oświetlenie sp. z o.o. of ORLEN Group

e-mail: tomasz.demianiuk2@energa.pl

He carries out professional tasks as the leading specialist for sales and brand coordinator at Energa Oświetlenie sp. z o.o. The areas of his interest are lighting technologies, ecology, energy, sales and economy. A graduate of Pontificia Universitas Gregoriana (Rome).

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 22–28. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Audyt i modernizacja oświetlenia w Gdyni – efektywność energetyczna i konsekwencje ekologiczne

Autor

Tomasz Józef Demianiuk

Słowa kluczowe

audyt efektywności energetycznej, modernizacja oświetlenia ulicznego, redukcja emisji CO₂, poprawa równomierności pokrycia światłem, energooszczędność opraw LED, wpływ oświetlenia ulicznego na ekosystem, podniesienie standardu bezpieczeństwa uczestników ruchu drogowego

Streszczenie

Modernizacja oświetlenia skutecznie redukuje koszty zużycia energii elektrycznej. Optyka opraw LED pozwala kierować strumień światła dokładnie tam, gdzie jest potrzebny. Możliwości wyboru barwy światła oraz równomierności oświetlenia tworzą komfortowe warunki prowadzenia pojazdów oraz korzystania z przestrzeni miejskiej. W argumentacji na korzyść wymiany opraw na pierwszy plan wysuwane są korzyści finansowe wynikające z zastosowania opraw energooszczędnych. Jednakże modernizacja poprawia również bezpieczeństwo i komfort życia. Ponadto strumień światła opraw LED jest przyjazny dla oka i w maksymalnym stopniu odzwierciedla naturalne światło dzienne. Taka barwa światła pozwala prawidłowo ocenić odległość innych przedmiotów i osób w porze nocnej. Nie bez znaczenia jest także aspekt ekologiczny. Oprawy LED są wykonane bez użycia pierwiastków szkodliwych dla środowiska. Dzięki zmniejszonemu zużyciu energii elektrycznej do atmosfery trafia mniej CO₂, związków siarki, azotu oraz innych substancji toksycznych. Poniżej omówimy korzyści energetyczne i ekologiczne modernizacji opraw w Gdyni.

Data wpływu do redakcji: 10.08.2020

Data wpływu do redakcji po recenzjach: 7.09.2020

Data akceptacji artykułu: 23.09.2020

Data publikacji online: 21.12.2020

1. Podstawa prawna oraz wyjaśnienie pojęć

Podstawę prawną przeprowadzania audytów efektywności energetycznej¹ stanowią akty prawne krajowe i europejskie oraz rozporządzenia zawierające zasady implementacji przepisów prawnych w praktyce. Najważniejszym dokumentem regulującym kwestie audytów jest *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z 25 października 2012 roku*. Dokument ten wprowadzał zmiany w poprzednich dyrektywach PE w tym zakresie. Sejm RP przyjął tę dyrektywę do prawa krajowego poprzez *Ustawę z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej* (Dz.U. z 2016 r. poz. 831). Ustawodawca określił, że pod pojęciem audyt efektywności energetycznej należy rozumieć „opracowanie zawierające analizę zużycia energii oraz określające stan techniczny obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji, zawierające wykaz przedsięwzięć służących poprawie efektywności

energetycznej obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji, a także ocenę ich opłacalności ekonomicznej i możliwości do uzyskania oszczędności energii” (art. 2, p. 1). Do ustawy zostały wydane rozporządzenia wykonawcze, z których należy wyróżnić:

- *Obwieszczenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowego wykazu przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej* (Monitor Polski z 2016 r. poz. 1184)
- *Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 5 października 2017 r. w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii* (Dz.U. z 2017 r. poz. 1912).

Rozporządzenia te szczegółowo określają okoliczności oraz zasady przeprowadzania audytów. W definicji audytu zawartej w ustawie warto wyróżnić określenie wskazujące na cel

przeprowadzenia audytu efektywności energetycznej (oświetleniowej), mianowicie „zawierające wykaz przedsięwzięć służących poprawie”. Celem podstawowym audytu jest nie tylko uzyskanie wiedzy na temat stanu technicznego urządzeń czy infrastruktury energetycznej i oświetleniowej, ale przede wszystkim wskazanie propozycji działań naprawczych oraz określenie ich opłacalności². Ważne jest zatem, aby audyt oświetlenia ulicznego zawierał pakiet kilku propozycji polepszenia stanu urządzeń oświetleniowych, tak aby zlecający audyt miał możliwość oceny i wyboru ścieżki poprawy istniejącej sytuacji. Warto wyjaśnić kilka najważniejszych pojęć związanych z audytem efektywności energetycznej (oświetleniowej):

Efektywność energetyczna

Pod pojęciem efektywności energetycznej należy rozumieć stosunek uzyskanej wielkości efektu użytkowego danego obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji, w typowych

¹ Zagadnienie audytu efektywności energetycznej przybliżyła M. Hajduk-Stelmachowicz, Audyt energetyczny przedsiębiorstw jako wyzwanie w kontekście poprawy efektywności energetycznej, *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* 2018, nr 104, s. 46 i nn.

² Por. B. Rogosz, M. Rogosz, D. Pułaczewska, Oczekiwania społeczne dotyczące oświetlenia miejskiego a nowoczesne technologie oświetlenia, *Górnictwo Odkrywkowe* 2018, nr 6, s. 63.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 22–28. When referring to the article please refer to the original text.

PL

warunkach ich użytkowania lub eksploatacji, do ilości zużycia energii przez ten obiekt, urządzenie techniczne lub instalację albo w wyniku wykonanej usługi niezbędnej do uzyskania tego efektu³. Na przykład, chcąc zmierzyć efektywność oświetlenia ulicznego, należy dokonać pomiaru natężenia światła, równomierności pokrycia, jakości strumienia świetlnego, a następnie przeanalizować koszt zużycia energii, konserwacji i wymiany źródeł światła. Skutkiem takiego zestawienia jest określenie proporcjonalności uzyskania efektu do ponoszonych kosztów.

Efekt użytkowy

W rozumieniu ustawodawcy⁴ jest to skutek, jaki wywołuje dostarczenie energii do danego obiektu lub przestrzeni w celu zapewnienia możliwości wykonania pracy, zapewnienia komfortu i bezpieczeństwa użytkowników, a także właściwego doświetlenia określonych powierzchni.

Energia pierwotna

Ustawa z 25 sierpnia 2006 roku o biokomponentach i biopaliwach ciekłych definiuje to pojęcie jako energię zawartą w pierwotnych nośnikach energii. Jest ona pozyskiwana ze środowiska naturalnego (węgiel, ropa naftowa, gaz ziemny wysokometanowy, torf opałowy) oraz sił przyrody, tj. wody, wiatru, słońca, geotermii⁵.

Energia finalna

Zgodnie z art. 3, pkt 1 i 3 ustawy z 10 kwietnia 1997 roku – *Prawo energetyczne*⁶, energia finalna oznacza energię zużywaną przez odbiorcę końcowego. Zgodnie z przywołanym zapisem prawa pojęciem tym definiuje się:

- energię przetworzoną w dowolnej postaci
- energię cieplną w wodzie gorącej, parze lub w innych nośnikach
- paliwa stałe, ciekłe i gazowe będące nośnikami energii chemicznej
- paliwa gazowe – gaz ziemny wysokometanowy lub zaazotowany, w tym skroplony gaz ziemny oraz propan-butan lub inne rodzaje gazu palnego, dostarczane za pomocą sieci gazowej, a także biogaz rolniczy, niezależnie od ich przeznaczenia
- ciekłe nośniki energii, w tym zawierające dodatki (np. półprodukty

rafineryjne, gaz płynny LPG, benzyny pirolityczne, benzyny silnikowe, benzyny lotnicze, paliwa typu benzyny do silników odrzutowych, paliwa typu nafty do silników odrzutowych, inne nafty, oleje napędowe, lekkie oleje opałowe i pozostałe oleje napędowe, ciężkie oleje opałowe, benzyny lakowe i przemysłowe itp.).

Oszczędność energii

Zakres semantyczny tej definicji zawiera m.in. różnicę pomiędzy ilością energii zużywaną na wykonanie określonych zadań przed modernizacją a ilością energii, jaka zostanie zużyta na wykonanie tych samych zadań po modernizacji. Przy wyliczeniu oszczędności energii konieczne jest także uwzględnienie znormalizowanych warunków zewnętrznych, które mają wpływ na zużycie energii⁷. W przypadku audytu oświetleniowego oszczędność jest wyliczana jako różnica pomiędzy kosztami utrzymania systemu oświetleniowego przed modernizacją (dostawa i dystrybucja energii, konserwacja i wymiana źródeł światła) a kosztami utrzymania tego samego systemu po wymianie opraw, z założeniem utrzymania takiego samego lub lepszego poziomu doświetlenia ulic i placów.

2. Audyt efektywności energetycznej

Pierwszym krokiem na drodze do modernizacji jest przeprowadzenie audytu, którego celem jest wskazanie działań umożliwiających poprawę efektywności energetycznej. Kwestie te są regulowane *Obwieszczeniem Ministra Gospodarki z dnia 21 grudnia 2012 r. oraz Obwieszczeniem Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowego wykazu przedsięwzięć służących poprawie skuteczności energetycznej*⁸. Dokumenty te zakładają, że rekomendowanymi działaniami w zakresie poprawy efektywności w oświetleniu zewnętrznym są m.in.:

- wymiana opraw oświetleniowych oraz niezbędnego osprzętu na energooszczędne
- wdrażanie inteligentnych systemów sterowania oświetleniem (np. system DALI, zintegrowane systemy sterowania, regulacje mocy systemu

w zależności od pory dnia) w zależności od konkretnych potrzeb i uwarunkowań lokalnych

- stosowanie systemów zasilania opartych na niskim poborze mocy.

Jak już wspominaliśmy, audyt oświetlenia ulicznego zakłada współwystępowanie dwóch elementów, tj. oceny stanu technicznego i zużycia mocy na potrzeby oświetlenia ulicznego oraz analizy efektów planowanych do uzyskania. Podstawą rzeczową do przeprowadzenia audytu jest dokonanie inwentaryzacji i oceny aktualnego stanu urządzeń oświetleniowych. Dzięki danym zgromadzonym podczas inwentaryzacji stworzona zostaje baza danych, na podstawie której można przeprowadzić wyliczenia efektów energetycznych, finansowych czy ekologicznych oraz do weryfikacji zakładanych celów. Rzetelnie wykonana inwentaryzacja pozwala na przygotowanie adekwatnych obliczeń i założeń. Opis aktualnego stanu systemu oświetleniowego pozwala na wykonanie dokładnego obliczenia zużycia.

Zużycie energii może być wyliczone na podstawie mocy znamionowej opraw lub kart katalogowych opraw. W sytuacji, gdy nie można uzyskać wiarygodnych danych z dokumentacji, należy przeprowadzić pomiary. W przypadku oświetlenia ulicznego należy uwzględnić zarówno pomiary zużycia energii elektrycznej, jak i pomiary natężenia światła. Jest to działanie usprawiedliwione i konieczne, ponieważ wraz z upływem czasu i oddziaływaniem czynników atmosferycznych zmniejsza się skuteczność świetlna źródeł światła oraz realne staje się ryzyko niespełnienia normy oświetleniowej⁹.

Obliczenie oszczędności energii jest zasadniczo procesem bardzo prostym. Polega na wyliczeniu całkowitej mocy systemu oświetleniowego lub jego części. Następnie należy zsumować moc nowego systemu oświetleniowego. Różnica tych dwóch wartości stanowi wartość oszczędności energetycznej w danym okresie czasu. Warto nadmienić, że przy wyliczaniu oszczędności energii w przypadku audytów oświetleniowych zawsze bierze się pod uwagę założenie, że nowy system

³ Por. M. Hajduk-Stelmachowicz, *Audyt energetyczny przedsiębiorstw...*, dz. cyt., s. 45.

⁴ Dz.U. z 2016 r. poz. 831.

⁵ Dz.U. z 2015 r. poz. 775 oraz z 2016 r. poz. 266.

⁶ Dz.U. z 1997 r., nr 54, poz. 348.

⁷ Por. M. Hajduk-Stelmachowicz, *Audyt energetyczny przedsiębiorstw...*, dz. cyt., s. 50.

⁸ *Monitor Polski* z 2016 r. poz. 1184.

⁹ Por. B. Rogosz, M. Rogosz, D. Pułaczewska, *Oczekiwania społeczne...*, dz. cyt., s. 67.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 22–28. When referring to the article please refer to the original text.

PL

oświetlenia będzie gwarantował osiągnięcie poziomu natężenia światła (mierzone w luxach) zgodnego z normą PN-EN-13201-2¹⁰. Podczas wyliczania oszczędności trzeba także pamiętać, że właściwym sposobem obliczenia zużycia energii nie jest proste zsumowanie mocy źródeł światła, ale suma mocy opraw, która uwzględni nie tylko moc źródeł światła, ale także potencjalną sumę strat mocy.

Inwentaryzacja systemu oświetlenia ulicznego oznacza nie tylko liczbowe zestawienie opraw, ich mocy, wykorzystanych źródeł światła, stanu technicznego itp. Drugim, obok energetycznego, celem inwentaryzacji jest wskazanie szczegółów geograficznych, geometrycznych i topograficznych dotyczących infrastruktury oświetleniowej. Poprawnie sporządzona inwentaryzacja powinna zawierać takie dane, jak: liczba słupów oświetleniowych, odległości między nimi, wysokości, długości wysięgników, kąt zamontowania oprawy, odległości słupa od jezdni, występowanie przeszkód w oświetleniu (drzewa, budynki, inne elementy architektoniczne); ukształtowanie terenu oraz klasę drogi. Klasę drogi określa co do zasady zarządca dróg, ale w sytuacji, gdy nie została ona określona, podczas inwentaryzacji można ją określić poprzez powtarzające się sytuacje oświetleniowe¹¹.

Czasami problemem może być brak danych co do godzin świecenia lub wyłączanie jakichś elementów systemu w określonych dniach czy porach roku. W tego typu przypadkach, dla poprawności wyliczenia oszczędności energetycznej, winno się przyjmować stan pełnego świecenia zainstalowanych urządzeń. Doświadczenie audytowe dowodzi, że mogą zdarzyć się sytuacje podyktowane chęcią uzyskania doraźnej korzyści, w której wyłączana jest np. co druga oprawa lub cyklicznie powtarzają się oprawy o większej i mniejszej mocy. W pierwszym przypadku, aby uzyskać poprawne obliczenia, należy w miejscach wyłączonych opraw przyjąć wartości takie jak w oprawach świecących. W sytuacji zaś, gdy zainstalowane oprawy mają różną moc, należy odrębnie opisać i następnie zsumować

moce wszystkich zainstalowanych opraw.

Ostatnim oczekiwaniem wobec audytu jest przedstawienie kilku propozycji modernizacji, co umożliwi zamawiającemu audyt wybór najkorzystniejszej opcji.

Podczas przygotowania dokumentacji audytowej istnieje spore ryzyko popełniania błędów i nieścisłości w obliczeniach. Do najczęściej spotykanych błędów należy zaliczyć:

- podawanie w pliku fotometrycznym mocy matrycy LED bez uwzględnienia strat mocy w zasilaczu
- podawanie strumienia oprawy bez uwzględnienia strat w układzie optycznym oprawy
- określanie rozsyłu światła dla matrycy LED, a nie całej oprawy oświetleniowej
- brak uwzględnienia wymiarów oprawy w pliku fotometrycznym (wysokość montażu oprawy i wysokość punktu świetlnego niezgodna z kartą katalogową oprawy)
- tworzenie plików fotometrycznych dla całej rodziny oprawy na podstawie zbadanej krzywej jednego typu, gdzie np. oprawa wyposażona w 10 diod LED posiada tę samą charakterystykę, co oprawa wyposażona w 30 diod LED. Jedyną zmianą w pliku fotometrycznym jest zmiana strumienia oraz mocy oprawy
- przyjmowanie kąta zawieszenia oprawy powyżej 15° (problem z olśnieniem)
- zakładanie kąta nachylenia oprawy z nietypową i trudną do odtworzenia w rzeczywistości wartością (np. 7,5°; 8,6°)
- przyjmowanie do obliczeń nietypowej długości wysięgnika oprawy (np. 1,436 zamiast 1,5 m)
- rozróżnienie wysokości montażu oprawy i wysokości punktu świetlnego oprawy
- pomijanie w symulacjach innych obszarów należących do drogi, np. chodnik, ścieżka rowerowa, pas postojowy, przejście dla pieszych¹².

Audyt oświetlenia wraz z projektem może być cennym źródłem wiedzy na temat stanu oświetlenia ulicznego oraz możliwości poprawy wielu

aspektów jego działania. Poprawność wyliczeń, rzetelność przeprowadzonych prac i właściwie przeprowadzona inwentaryzacja pozwalają na kompetentne przygotowanie modernizacji, która uwzględni zarówno oszczędność energetyczną, jak i zapewni utrzymanie oświetlenia zgodnego z normami.

3. Audyt oświetlenia w Gdyni

W ramach wieloletniej współpracy pomiędzy samorządem miasta Gdyni a Energa Oświetlenie realizowane były różne projekty dotyczące nie tylko utrzymania i konserwacji oświetlenia w tym mieście, ale także dobudowy infrastruktury oświetleniowej, doświetlenia przejść dla pieszych oraz inne działania w zakresie polepszenia bezpieczeństwa i komfortu użytkowników gdyńskich dróg i placów. Z końcem 2019 roku przystąpiono do negocjacji umowy o świadczenie kompleksowej usługi oświetlenia na terenie miasta Gdynia do końca 2023 roku. W toku prowadzonych rozmów przedstawiony został plan wygenerowania oszczędności oraz poprawy efektywności oświetleniowej. Polegał on na zmodernizowaniu 30% opraw oświetlenia ulicznego znajdującego się na obszarze Gdyni. Wyznaczono 5560 szt. opraw wysokoprężnych sodowych, które miały zostać wymienione na LED. Podstawą do rozpoczęcia działań związanych z modernizacją było podpisanie 31 grudnia 2019 roku umowy pomiędzy miastem Gdynia a Energa Oświetlenie. Zakładano, że prace modernizacyjne zostaną przeprowadzone i zakończone do 30 czerwca 2020 roku¹³.

Pierwszym etapem realizacji prac było przeprowadzenie audytu oświetleniowego opraw, które przewidziano do wymiany.

Audyt został przeprowadzony na podstawie:

- zlecenia Urzędu Miasta w Gdyni
- Normy Oświetleniowej PN-EN 13201 Oświetlenie dróg
- inwentaryzacji opraw w terenie
- s z c z e g ó ł o w y c h u s t a l e n i z zamawiającym.

Przedmiotowy zakres audytu w Gdyni obejmował:

- inwentaryzację sieci oświetleniowej

¹⁰ Więcej na ten temat w: P. Jaskowski, P. Tomczuk, Ustalenie klasy luminacyjnej jezdni z wykorzystaniem alternatywnych urządzeń pomiarowych, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej* 2018, nr 121, s. 106.

¹¹ Tamże.

¹² Błędy tego typu kataloguje i szczegółowo omawia W. Pabjańczyk, Audyty i projekty oświetlenia drogowego jako podstawa efektywnej realizacji inwestycji drogowej – wymagania i ograniczenia praktyczne, materiały XIII Konferencji „Oświetlenie dróg i miejsc publicznych – sposoby zarządzania systemami oświetlenia”, PTPiREE 2018, s. 87.

¹³ Wszystkie dane pochodzą z opracowania „Audyt efektywności energetycznej nr 1-2020 dla przedsięwzięcia zrealizowanego. Modernizacja oświetlenia drogowego na terenie miasta Gdyni”, Sopot 2020.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 22–28. When referring to the article please refer to the original text.

PL

- dobór klas oświetlenia ulicznego dla wszystkich sytuacji objętych modernizacją
- dobór opraw dla ww. sytuacji
- wskazanie zakresu redukcji oświetlenia
- obliczenia związane z audytem: mocy zainstalowanej, zużycia energii elektrycznej i jej kosztów przed i po modernizacji, efektu redukcji emisji gazów w Mg CO₂/rok
- analizę obliczeń: mocy zainstalowanej, zużycia energii elektrycznej i jej kosztów przed i po modernizacji
- wskazanie czasu zwrotu inwestycji.

Podstawę prawną czynności audytowych stanowiły przepisy:

- PN-EN 13201:2015 Oświetlenie dróg – Część 1: Wybór klas oświetlenia
- PN-EN 13201:2015 Oświetlenie dróg – Część 2: Wymagania oświetleniowe
- PN-EN 13201:2015 Oświetlenie dróg – Część 3: Obliczenia parametrów oświetlenia
- PN-EN 13201:2015 Oświetlenie dróg – Część 4: Metody pomiarów parametrów oświetlenia
- *Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 5 października 2017 r. w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii*¹⁴
- *Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie*¹⁵.

W świetle ww. norm i rozporządzeń możliwe jest wyodrębnienie kilku klas oświetleniowych dróg i chodników. Wyróżnia się trzy podstawowe rodzaje klas oświetleniowych:

- ME – klasa oświetlenia stosowana dla dróg, których użytkownikami są kierowcy pojazdów silnikowych na trasach z prędkościami od średnich do dużych
- CE – klasa oświetlenia stosowana dla dróg i innych powierzchni (np. chodnik), których użytkownikami są kierowcy pojazdów silnikowych oraz inni użytkownicy w strefach konfliktowych, np. skrzyżowania o dużym stopniu złożoności, ulice handlowe etc.
- S – klasa przeznaczona dla pieszych i rowerzystów znajdujących się na chodnikach, drogach rowerowych itp.

Oprawy przed wymianą		Moc znamionowa oprawy przed modernizacją	Łączna moc typu opraw (MWh)	Zużycie roczne (MWh)
Typ	Liczba			
SGS 203 – 70 W	79	84	6,636	27,54
Ambar 2 – 70	80	83	6,64	27,56
Sintra 1 – 70 W	93	84	7,812	32,42
SGP 340 – 70 W	4	78	0,312	1,29
OUSc-70	749	81	60,669	251,78
Ambar 2 – 100	71	114	8,094	33,59
SGS 203 – 100 W	331	114	37,734	156,60
SGP 340 – 100 W	9	106	0,954	3,96
OUShe-100	323	114	36,822	152,81
Sintra 1 – 100	106	115	12,19	50,59
OUR 125	71	137	9,727	40,37
Ambar 2 – 150	149	167	24,883	103,26
SGP 340 – 150 W	6	160	0,96	3,98
SGS 203 – 150 W	2837	167	473,779	1966,18
Sintra 1 – 150	72	168	12,096	50,20
OUS-150	41	170	74,97	311,13
SGP 340 – 250 W	11	273	3,003	12,46
SGS 203 – 250 W	66	273	18,018	74,77
Sintra 2 – 250 W	11	273	3,003	12,46
OUS-250	46	276	12,696	52,69
OUS-400	5	435	2,175	9,03
Razem	5560		813,17	3374,67

Tab. 1. Zestawienie opraw oraz moc części systemu oświetleniowego przewidzianego do modernizacji

Inwentaryzacja opraw została wykonana zarówno bezpośrednio w terenie, jak i w systemie GIS (ang. Geographic Information System). Prace prowadzone w ramach wizji lokalnej pozwoliły dodatkowo zebrać informacje na temat dróg, chodników, parkingów, pasów zieleni, ścieżek rowerowych, przejść dla pieszych oraz innych czynników istotnych z punktu widzenia audytu. Oczywiście dokonano pomiarów wysokości słupów, opisano ich stan techniczny. Zinwentaryzowane zostały także wysięgniki słupów (długości i kąt względem słupa) oraz informacje na temat sposobu montażu opraw (m.in. ich optyki, kąta świecenia, występowania odbłyśników). Inwentaryzacja objęła 5560 szt. opraw ulicznych zlokalizowanych wzdłuż głównych ciągów komunikacyjnych Gdyni (np. skwer Kościuszki, ulice 3 Maja, Władysława IV, A. Abrahama, Powstańców Styczniowych, 10 Lutego, al. Piłsudskiego).

We wszystkich przypadkach inwentaryzacja objęła oprawy z wysokoprężnym

sodowym źródłem światła (HPS). Na potrzeby audytu pogrupowano oprawy według mocy źródeł światła, jakkolwiek uwzględniono straty na stateczniku elektromagnetycznym. Stąd na potrzeby obliczeń oszczędności energetycznej jako moc opraw założono 115% mocy źródła światła. Przyjmując takie parametry, obliczono łączną moc zainstalowanego systemu oświetleniowego. Zakres modernizacji Energa Oświetlenie ustaliła z przedstawicielami miasta Gdynia jako użytkownika oświetlenia drogowego. Wytypowano 5560 opraw na terenie miasta. Przed modernizacją do oświetlania dróg i ulic stosowano głównie starsze oprawy wykorzystujące energochłonne, sodowe i rtęciowe źródła światła. W okresie ich instalacji były to powszechnie stosowane w oświetleniu ulicznym typy opraw, zapewniające wymagany strumień świetlny.

4. Oszczędność energetyczna w Gdyni

Podstawowym celem audytu, oprócz zinwentaryzowania opraw, było także

¹⁴ Dz.U. z 2017 r. poz. 1912.

¹⁵ Dz.U. z 2016 r. poz. 124.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 22–28. When referring to the article please refer to the original text.

PL

przedstawienie wyliczenia oszczędności energetycznej na skutek modernizacji. Pierwszym krokiem było ustalenie energochłonności poprzedniego systemu oświetlenia ulicznego. Do analizy zużycia energii przyjęto moc znamionową źródeł światła oraz układów zapłonowych, co pozwoliło uzyskać łączną moc znamionową opraw.

Zgodnie z tabelą nr 6 załącznika nr 2 do *Rozporządzenia Ministra Energii z 5 października 2017 roku*¹⁶, przyjęto standardowy roczny czas świecenia opraw – 4150 godzin. Obok mocy znamionowej opraw i czasu użytkowania za czynnik istotny do obliczenia efektywności energetycznej uznano także żywotność opraw oświetleniowych (koszt wymiany, utylizacji itp.).

Modernizację zaplanowano jako wymianę opraw w stosunku 1:1. Do konkretnych klas sytuacji drogowych i oświetleniowych przedstawione zostały propozycje nowych opraw, które miały zapewnić dochowanie przepisów normy oraz realnie zmniejszyć zużycie energii. Ilość energii finalnej zaoszczędzonej w wyniku realizacji modernizacji opraw obliczono na podstawie załącznika nr 2, pkt 1.1 do *Rozporządzenia Ministra Energii z dnia 5 października 2017 r. w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii*, w części dotyczącej opraw oświetleniowych lub źródeł światła i określonej wzorem:

$$\Delta Q_0 = T_u(M_0 - M_1)/1\,000\,000$$

Jak już wspominaliśmy, moc znamionowa poprzedniego systemu oświetlenia wynosiła 813,17 MWh. Na skutek modernizacji moc znamionowa opraw wynosi 234,01 MWh. Zakładając, że roczny czas używania oświetlenia wynosi 4150 godzin, zaoszczędzona energia finalna wynosi łącznie 2403,54 MWh rocznie.

Ilość zaoszczędzonej energii pierwotnej obliczono za pomocą współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej w_p , w_{el} , wskazanego w tabeli w *Rozporządzeniu Ministra Energii z 5 października 2017 r.*, który dla energii elektrycznej z sieci elektroenergetycznej systemowej jest równy $w_{el} = 2,5$.

Podstawą do wyliczenia zaoszczędzonej energii pierwotnej jest wzór:

$$\Delta Q_p = \Delta Q_0 \times w_{el}$$

Biorąc do obliczeń dane uzyskane w wyliczeniu zaoszczędzonej energii

Oprawy po wymianie		Moc znamionowa oprawy – układu po modernizacji	Łączna moc danego typu opraw (MWh)	Zużycie roczne (MWh)
Typ	Liczba			
BDP265 1 x LED64-4S/740 DW50	140	38,5	5,39	22,37
BGP281 T25 1 x LED30-4S/740 DN09	110	20	2,2	9,13
BGP281 T25 1 x LED35-4S/740 DM12	104	22	2,288	9,50
BGP281 T25 1 x LED39-4S/740 DN09	484	24,5	11,858	49,21
BGP281 T25 1 x LED44-4S/740 DN09	619	28	17,332	71,93
BGP281 T25 1 x LED49-4S/740 DN09	848	31	26,29	109,09
BGP281 T25 1 x LED54-4S/740 DM12	261	34,5	9,0045	37,37
BGP281 T25 1 x LED59-4S/740 DN09	267	38	10,146	42,105
BGP281 T25 1 x LED64-4S/740 DM11	732	42	30,744	127,59
BGP282 T25 1 x LED109-4S/740 DM12	228	67	15,276	63,40
BGP282 T25 1 x LED119-4S/740 DM12	179	74	13,246	54,97
BGP282 T25 1 x LED74-4S/740 DM12	97	45,5	4,4135	18,32
BGP282 T25 1 x LED80-4S/740 DM12	267	50	13,35	55,40
BGP282 T25 1 x LED84-4S/740 DM11	154	53	8,162	33,87
BGP282 T25 1 x LED89-4S/740 DM11	319	56	17,864	74,135
BGP282 T25 1 x LED94-4S/740 DM11	139	60	8,340	34,611
BGP283 T25 1 x LED-HB 22000 lm-4S/740	60	130	7,8	32,37
Pozostałe oprawy	552		30,2522	125,546
Razem	5560		234,0059	971,12

Tab. 2. Zestawienie porządkujące przyjęte w ramach modernizacji rozwiązania

Lp.	Nazwa Gminy	Zużycie roczne przed modernizacją MWh	Zużycie roczne po modernizacji MWh	Oszczędność energii finalnej		Oszczędność energii pierwotnej	
				MWh	toe	MWh	toe
1	Gdynia	3 374,67	971,12	2 403,54	206,67	6 008,86	516,67
RAZEM		3 374,67	971,12	2 403,54	206,67	6 008,86	516,67

Tab. 3. Wartość zużycia rocznego przed i po modernizacji wraz z oszczędnościami

pierwotnej na poziomie 2403,54 MWh, z łatwością można wyliczyć, że ilość zaoszczędzonej energii pierwotnej wynosi 6008,85 MWh w skali roku.

Zaoszczędzone ilości energii zostały także wyliczone w tonach oleju ekwiwalentnego (toe). Jest to energetyczny równoważnik jednej tony ropy naftowej o wartości opałowej równej 10 000 kcal/kg. Jednostka ta jest używana przede wszystkim w energetyce do opisu dużych wartości energii. Międzynarodowa Agencja Energetyczna (IEA) oraz Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD) definiują 1 toe jako 11 630 kWh, tj. 11,63 MWh. Szczegółowe wyliczenia prezentuje tabela.

5. Kwestie ekologiczne

Wśród wielu pozytywnych aspektów modernizacji oświetlenia warto także omówić wpływ zmiany oświetlenia na środowisko naturalne. Dzięki modernizacjom znacznie zmniejsza się zużycie energii elektrycznej. Powoduje to automatycznie zmniejszenie emisji do atmosfery CO₂ oraz innych szkodliwych związków chemicznych. Rzadko zauważanym, ale jednak bardzo istotnym z punktu widzenia ekologii jest też fakt, że dzięki ukierunkowaniu światła wprost na oświetlane powierzchnie, bez efektu śmiecenia światłem, poprawie ulega dobrostan zwierząt prowadzących nocny tryb życia oraz reguluje się cykl fotosyntetyczny roślin.

¹⁶ Dz.U. z 2017 r. poz. 1912.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 22–28. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Pierwszorzędnym skutkiem modernizacji jest obniżenie emisji CO₂ oraz tlenków siarki i azotu, tlenku węgla i pyłu całkowitego. Wyliczenia redukcji wytwarzania tych substancji dokonuje się na podstawie wskaźników emisyjności, które są informacją wykorzystywaną w ocenie zmian ekologicznej kondycji poszczególnych branż gospodarczych. Mają one również zastosowanie przy prognozowaniu emisji, a także wyliczeniu efektu ekologicznego w przypadku modernizacji lub realizacji nowych przedsięwzięć skutkujących ograniczeniem emisji. Istotne jest określenie emisyjności wytwarzania energii elektrycznej, w szczególności obciążenia wytworzonej jednej megawatogodziny energii elektrycznej emisjami CO₂, SO₂, NO_x, CO i pyłu całkowitego. Na potrzeby określenia efektu ekologicznego modernizacji w Gdyni przyjęto wskaźniki raportowane przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE) do Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego, do bazy danych o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji, z instalacji spalania paliw, które w 2018 roku produkowały tylko energię elektryczną lub energię elektryczną i ciepło (nie były brane pod uwagę instalacje produkujące wyłącznie ciepło). Uwzględniono wszystkie paliwa, w tym odnawialne, które wykorzystywano w procesach spalania i były odpowiedzialne za emisje rozpatrywanych zanieczyszczeń.

Dodatkowo określono także wskaźniki emisyjności energii elektrycznej u odbiorców końcowych, czyli po uwzględnieniu całej wyprodukowanej energii elektrycznej w kraju, niezależnie od rodzaju instalacji (instalacje do spalania paliw i energia z odnawialnych źródeł energii – tzw. OZE) oraz straty na przesyłce i dystrybucji energii elektrycznej. Wartości wskaźników prezentuje poniższa tabela:

Związek chemiczny	kg/MWh
CO ₂	765
SO ₂ /SO ₂	0,681
NO _x /NO ₂	0,631
CO	0,275
Pył całkowity	0,036

Tab. 4. Wskaźniki emisyjności energii elektrycznej u odbiorców końcowych

Biorąc pod uwagę wartości osiągniętej oszczędności zużycia energii, po modernizacji w Gdyni w skali roku do atmosfery trafia o 1838,71 ton CO₂ mniej. Emisja toksycznych związków siarki została zredukowana o 1636,81 kg rocznie, zaś szkodliwych dla człowieka i środowiska naturalnego związków azotu o 1516,63 kg rocznie. Wymiana opraw spowodowała także zmniejszenie wydzielania CO (czadu) do atmosfery. Dzięki energooszczędności nowego systemu oświetlenia wydzielanie tlenku węgla do atmosfery zmniejszy się o 660,97 kg rocznie. Nie bez znaczenia jest także redukcja emisji pyłu całkowitego zanieczyszczającego środowisko naturalne – po modernizacji, w każdym roku funkcjonowania nowego oświetlenia do atmosfery trafi niemal o 90 kg mniej tego pyłu.

Mówiąc o innych aspektach ekologicznych modernizacji należy też pamiętać o pozytywnym wpływie światła na komfort widzenia przez ludzkie oko, a także oddziaływanie nowego systemu oświetlenia na życie i funkcjonowanie zwierząt i roślin w otoczeniu instalacji oświetleniowych. To bardzo istotna kwestia, która pozwala spojrzeć nieco szerzej na problem modernizacji, a także pomaga odkryć więcej zalet nowego oświetlenia. Najważniejszym wyznacznikiem doboru opraw oświetleniowych jest zawsze bezpieczeństwo i komfort ludzi (kierowców pojazdów, pieszych, mieszkańców). Najkorzystniejszym światłem dla oka ludzi jest naturalne światło słoneczne w porze południowej okresu wiosennego. Jest to światło o temperaturze barwowej ok. 4000 K. Pozwala ono właściwie identyfikować barwy, postrzegać kontury i kształty oraz ocenić proporcje i odległości pomiędzy obserwowanymi obiektami. Temperatura barwowa światła emitowanego przez oprawy sodowe znacząco odbiega od światła naturalnego. Z reguły oprawy sodowe dają światło o temperaturze ok. 2000 K. Jest to światło żółte lub złoto-pomarańczowe. W cyklu dnia taka barwa światła jest typowa dla zmierzchu słońca w porze jesiennej. Dla zasymilowania tego typu strumienia światła siatkówka oka musi wykonać spory wysiłek akomodacyjny. Żółta barwa światła powoduje także zakłócenia w prawidłowym rozróżnianiu kolorów. Nie bez znaczenia jest też fakt, że oprawy sodowe świecą światłem rozproszonym, co sprawia, że spora jego część jest

emitowana w te obszary, gdzie w ogóle nie jest potrzebna. Jest to zjawisko tzw. śmiecenia światłem. Zjawisko to wywiera niekorzystny wpływ na biorytm zwierząt prowadzących nocny tryb życia. W przypadku opraw LED istnieje możliwość takiego doboru spektrum widma, aby oprawa emitowała światło maksymalnie zbliżone parametrami do światła słonecznego. Jest to światło przyjazne dla oka, niepowodujące oślepienia, a także mające wysoki współczynnik oddania barw. Te cechy sprawiają, że światło pochodzące z opraw ledowych jest bezpieczne dla oczu oraz zapewnia precyzję widzenia oraz komfort uczestników ruchu drogowego. Dzięki zastosowaniu soczewek można strumień światła skierować na te powierzchnie, które wymagają oświetlenia. Dla zwierząt nocnych oznacza to uregulowanie ich dobowego rytmu życia. Zastosowanie opraw LED, które kierują światło bezpośrednio na pożądane płaszczyzny, minimalizując rozpraszanie strumienia światła, pozwala w miastach uniknąć efektu określanego przez ekologów jako tzw. permanentna pełnia księżyca. Polega ono na tym, że nasycenie światłem w porze nocnej zaburza trasy migracji, okresy żerowania i polowań, uniemożliwia odpoczynek bądź stwarza bezpośrednie zagrożenie ze strony drapieżników zwierzętom prowadzącym nocny tryb życia. Obecnie w Polsce trwają badania, które weryfikują wpływ zmiany optyki oświetlenia ledowego na środowisko naturalne.

Odrębną kwestią, nad którą należałoby się pochylić, jest także wpływ światła na bezpieczeństwo mieszkańców i użytkowników dróg. Obecnie jest jednak zbyt wcześnie, by w sposób miarodajny i poparty badaniami potwierdzić taki wpływ. Można jedynie opierać się na opracowaniach powszechnie dostępnych i doświadczeniu innych miast, które potwierdzają pozytywny wpływ na wzrost bezpieczeństwa zarówno materialnego, jak i psychicznego użytkowników przestrzeni miejskiej.

6. Zakończenie

Zakończona modernizacja oświetlenia w Gdyni należy z pewnością do największych realizacji tego typu realizowanych przez Energa Oświetlenie w 2020 roku. Dzięki profesjonalnej realizacji inwestycji zostały osiągnięte dwa główne założenia: znacząco poprawiona została efektywność energetyczna systemu

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 22–28. When referring to the article please refer to the original text.

PL

oświetlenia ulicznego w Gdyni oraz uzyskano znaczące obniżenie emisji CO₂ i innych związków chemicznych. Działania te oznaczają dla samorządu obniżenie zużycia energii, a dla mieszkańców poprawę bezpieczeństwa oraz komfort korzystania z oświetlenia przyjaznego dla oczu. Nowe oświetlenie oznacza także długotrwałą gwarancję skuteczności oraz redukcję kosztów konserwacji i wymiany źródeł światła.

Bibliografia

- Hajduk-Stelmachowicz M., Audyt energetyczny przedsiębiorstw jako wyzwanie w kontekście poprawy efektywności energetycznej, *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* 2018, nr 104, s. 43–53.
- Rogosz B., Rogosz M., Pułaczewska D., Oczekiwania społeczne dotyczące oświetlenia miejskiego a nowoczesne technologie oświetlenia, *Górnictwo Odkrywkowe* 2018, nr 6, s. 61–70.
- Jaskowski P., Tomczuk P., Ustalenie klasy luminacyjnej jezdni z wykorzystaniem alternatywnych urządzeń pomiarowych, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej* 2018, nr 121, s. 105–113.
- Górczewska M., Oświetlenie dróg i ulic – wybrane zagadnienia, materiały XIII Konferencji „Oświetlenie dróg i miejsc publicznych – sposoby zarządzania systemami oświetlenia”, PTPiREE, Wisła 2018, s. 59.
- Pabjańczyk W., Audyty i projekty oświetlenia drogowego jako podstawa efektywnej realizacji inwestycji drogowej – wymagania i ograniczenia praktyczne, materiały XIII Konferencji „Oświetlenie dróg i miejsc publicznych – sposoby zarządzania systemami oświetlenia”, PTPiREE 2018, s. 87.
- Audyt efektywności energetycznej nr 1-2020 dla przedsięwzięcia zrealizowanego, Modernizacja oświetlenia drogowego na terenie miasta Gdyni, Sopot 2020.

Tomasz Józef Demianiuk

lic.

Energa Oświetlenie sp. z o.o. z Grupy ORLEN

e-mail: tomasz.demianiuk2@energa.pl

Zadania zawodowe realizuje na stanowisku specjalisty wiodącego ds. sprzedaży oraz koordynatora marki w Energa Oświetlenie sp. z o.o. Obszarem jego zainteresowań są technologie oświetleniowe, ekologia, energetyka, sprzedaż i ekonomia. Absolwent Pontificia Universitas Gregoriana (Rzym).