

STRUCTURE AND ENVIRONMENT

ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND ENERGY

No. 4/2011 vol. 3 PL ISSN 2081-1500 www.sae.tu.kielce.pl KIELCE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Contents

structure

TOMASZ ARCISZEWSKI, JEFFREY RUSSELL

CHANGE DEMANDS RENAISSANCE IN CIVIL ENGINEERING EDUCATION	5
--	----------

PAWEŁ KOSSAKOWSKI

LOAD-BEARING CAPACITY OF WOODEN BEAMS REINFORCED WITH COMPOSITE SHEETS	14
---	-----------

environment

IZABELA ANTCZAK, ANITA BANAŚ, IZABELA KAPUŚCIŃSKA

THE USE OF THERMOVISION IN THE ESTIMATION OF THERMAL ENERGY LOSSES OF BUILDINGS	25
--	-----------

JOLANTA LATOSIŃSKA, ALICJA TURDAKOW

THERMAL UTILIZATION OF MUNICIPAL SEWAGE SLUDGE – EXAMPLES OF POLISH SOLUTIONS	31
--	-----------

PAWEŁ KOSSAKOWSKI

PROTECTION AGAINST NOISE IN THE EUROPEAN UNION – GENERAL REQUIREMENTS, AP-PLIED NOISE INDICATORS AND ASSESSMENT METHODS	38
--	-----------

HOW TO PREPARE THE MANUSCRIPT	47
--	-----------

THE REVIEW PROCESS	48
---------------------------------	-----------

EDITORIAL BOARD

Main Editor Jerzy Z. Piotrowski

Editor Ludwik Śliwa

Secretary of the Editorial Board Radosław Zaborek

Sectional Editor STRUCTURE Zdzisława Owsiak

Sectional Editor ENVIRONMENT Lidia Dąbek

SCIENTIFIC BOARD

Chairmanship Tomasz Kozłowski

STRUCTURE

Tomasz Arciszewski (USA), Lesław Brunarski, Go Iwahana (Japan), Marek Iwański, Zbigniew Kowal, Jozef Melcer (Slovakia), Michaił V. Nemchinov (Russia), Victor Proskuriakow, Zbigniew Rusin, Bohdan Rymaszewski, Wacław Seruga, Małgorzata Wilczkiewicz (USA)

ENVIRONMENT

Satoshi Akagawa (Japan), Elżbieta Bezak-Mazur, Dorota Chwieduk, Graham Herbertson (Scotland), Andrzej Kapłon, Andrzej Kuliczkowski, Janusz Łomotowski, Paweł Purgał, Leszek Radziszewski, Anatol Stroy (Ukraine), Maria Żygadło

www.sae.tu.kielce.pl

sae@tu.kielce.pl

The quarterly printed issues of Structure and Environment are their original versions

The Journal published by the Kielce University of Technology
Faculty of Civil and Environmental Engineering

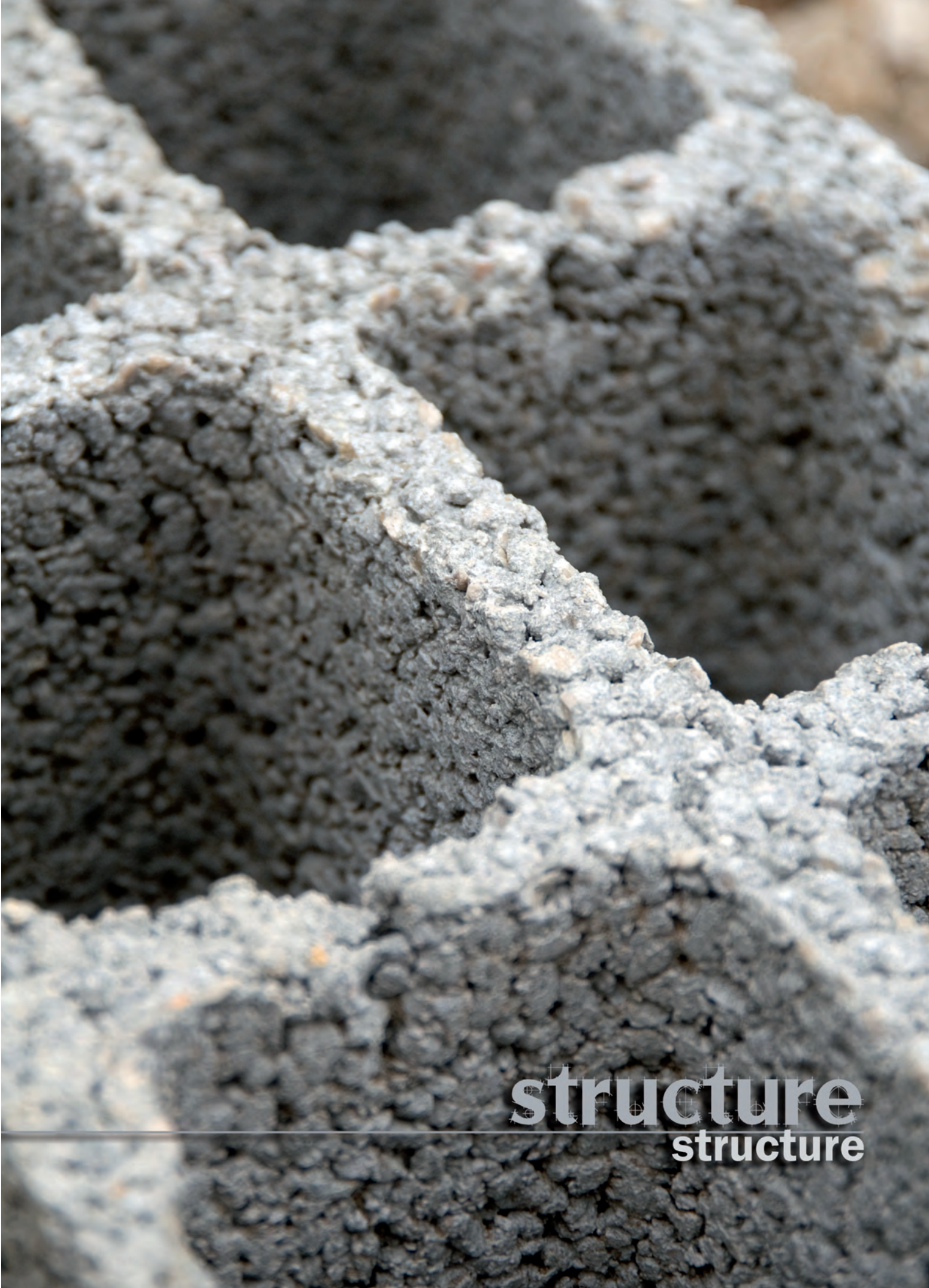
PL ISSN 2081-1500

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2011

25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
tel. 41 34 24 581
www.tu.kielce.pl/organizacja/wydawnictwo



Kielce University of Technology
2011



structure
structure

TOMASZ ARCISZEWSKI

the Volgenau School of Information Technology and Engineering
George Mason University
tarcisze@gmu.edu

JEFFREY RUSSELL

College of Engineering, University of Wisconsin-Madison
Russell@eng.wisc.edu

CHANGE DEMANDS RENAISSANCE IN CIVIL ENGINEERING EDUCATION

Abstract

Much has been written about how the world has changed and continues to change at an incredibly rapid pace. Much has also been written about globalization, population demands, water quality, waste management, and many more of the issues that confront human kind throughout the world. It is not the authors' purpose in this paper to repeat the familiar maxim: civil engineering education must change to meet the challenges of a rapidly changing world. Instead, the authors clarify the very real risks of the vectors of psychological inertia, and describe how systems analysis and the theory of inventive problem solving (TRIZ) justify substantive change in civil engineering education and how that could be accomplished.

Keywords: civil engineering education, national and local needs, contradictions, systems analysis, TRIZ, evolution

1. The Fluidity of Rapid Change Surrounds Us

Civil engineering is undergoing rapid changes driven by globalization, growing environmental, safety and security concerns, population demands, the computer revolution, and by scientific advances in fields such as biotechnology, materials science, nanotechnology, and many more. Obviously, such changes demand that students acquire more knowledge than in the past, not only traditional engineering knowledge based in science and math, but also new knowledge that encompasses emerging domains in science and engineering and knowledge in critical areas such as communications, leadership, business management, marketing, and the political process.

Furthermore, students need to learn how to develop novel designs, and that is absolutely necessary to maintain and expand our competitive advantage with respect to other countries and to be adequately prepared to meet coming professional challenges. Therefore, there are strong national needs to expand and enhance civil engineering education (CEE), including educating innovators, i.e. civil engineers with knowledge and skills necessary to develop novel designs, which might be potentially patentable.

Over the last 60 years a strong national trend has taken place in reducing the number of credit hours required for a BS degree in civil engineering. Presently,

the US average is as little as 125 credit hours, down from 135 credit hours only 20 years ago. This trend is driven primarily by state funded universities bowing to political pressures to reduce the cost of undergraduate education and to ensure that BS students graduate in four years. Unfortunately, private universities follow this trend mostly to remain competitive.

Today, civil engineering educators struggle with the obvious contradiction between the national and local and state levels needs. The traditional national needs mean expansion of the CEE and a broad-based approach to moving forward. Whereas the local needs are much more often focused on the here and now, attuned to local and community politics and economic conditions; often resulting in efforts to reduce the breadth and depth of CEE. This contradiction cannot be eliminated through quantitative changes within the existing paradigm. Our hypothesis is that the existing situation requires a constant evolution of CEE. However, this will be insufficient and bold action and qualitative, or paradigmatic, changes are required in addition to constant minor quantitative improvements.

The objective of this paper is to present a theoretical justification for the constant evolution of CEE and for paradigmatic changes as well as to demonstrate how such changes could be accomplished. The authors have developed the paper within the context of Systems

Science and of the Theory of Creative Problem Solving (TRIZ), which is also based on systems analysis. The fact is, the fluidity of rapid change surrounds us. As a profession, we must embrace it because time and change only move in one direction.

2. Escaping the Vector of Psychological Inertia

We are humans and our behavior, including professional behavior, is strongly affected by the "Vector of Psychological Inertia" (VPI) [1], [4], [5], [7]. Put in simple terms, as we operate within the VPI we are comfortable with what we know, in our given perspective, and in the manner and methods we employ to achieve our goals. It is understood as a natural human tendency to focus on known solutions in our own domain and to be extremely reluctant to seek solutions outside of our domain. Such an approach provides a psychological explanation as to why it is so difficult to think "outside the box" and why so often we follow the vector of psychological inertia (rooted in our experience) instead of following the evolution of the system being considered (See the next section for more on the evolution of engineering systems) (Fig. 1).

The vector of psychological inertia affects even talented inventors, who usually invest a lot of time and effort investigating local lines of evolution within their domain instead of initiating a process directly leading to the desired solution and based on the general patterns of evolution [1], [4], [5], [7], [11], [17].

The vector of inertia accompanies many practices and professions, in nearly every undertaking that

comprises the human experience – from ancient times to contemporary life. This does not mean it is a good thing, for the vector of inertia impedes progress whether one considers the development of the latest styles of mobile telephones, or the current crisis facing the newspaper industry. The vector of inertia is characterized by an over-reliance on routine, and a failure to respond to external conditions and circumstances.

Consider the example of Nokia, the world's largest mobile phone maker. Five years ago Nokia paid a heavy price for being slow to adapt to consumer demand for new clamshell telephone handsets. At the time, Nokia saw its market share dip significantly and reported a 2% drop in first quarter profits. Major competitor Samsung Electronics recorded soaring profits, and an increase of 178% in a year-over-year comparison, marking the company's best quarter ever.

In some instances it takes a full-blown crisis to jumpstart an industry and to elevate it beyond the vector of inertia. Such a crisis is confronting the newspaper industry as of this writing. The business model upon which most daily and weekly newspapers were founded has become obsolete, advertising revenues have declined significantly as well as levels of readership. Readers are flocking to internet news sites where they can acquire the news they need for free, and newspapers are scaling back, cutting staff, ceasing to publish in print and maintain an online presence only, and devising new business models in which readers will be encouraged to pay for content.

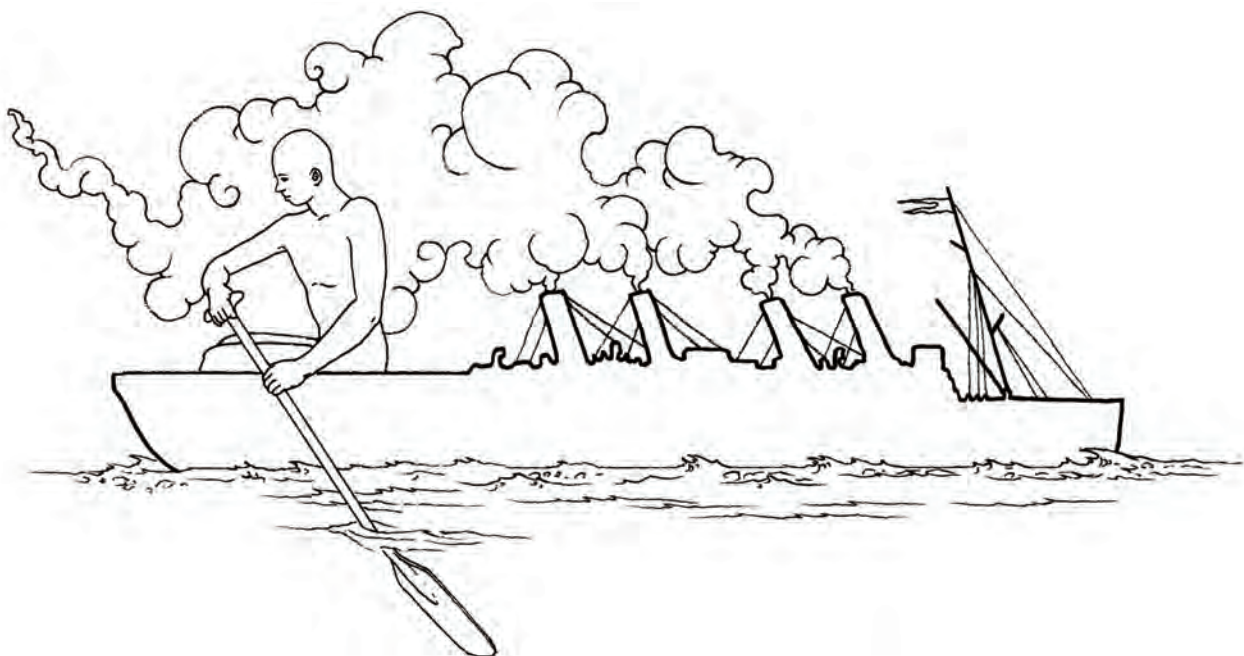


Fig. 1. The Vector of Psychological Inertia

The Internet and the general and wide spread availability of information at any time is one reason why newspapers have been struggling to survive. The organizational and managerial recipes that they have followed have become outdated, and lead to the growth of strategic inertia – the level of commitment to current strategy. As Wright et al. [16] has noted, "An organization's strategic decision-making must retain or improve the organization's alignment with the external world. In other words, (management) recipes should not be routinely followed and should be changed altogether when appropriate".

Reluctance to evolve CEE is well known, but mechanisms behind it are not fully understood. This often leads to emotional arguments, which create even more resistance to change. We believe that understanding the phenomenon in objective and scientific terms will help us improve the situation. The impact of the vector of psychological inertia is often harmful because it delays progress, as we discussed it earlier in the areas of communication and mass media. In CEE, there are many examples of how the vector of psychological inertia set back necessary changes, such as delaying the elimination of outdated courses, reviewing the curriculum as a system as opposed to a group of courses, or the introduction of new courses. For example, when the evolution of required and elective courses at the Civil, Environmental, and Infrastructure Engineering Department at George Mason is considered, the vector of inertia in action can be easily observed. About 15 years ago a novel required course on computer graphics in civil engineering was introduced, ENGR 183 "Engineering Computer Graphics". Its major focus was on teaching practical AutoCAD skills in the context of civil engineering applications. Today, many students take computer graphics courses at the high school and/or learn AutoCad during their summer internships, but the course is still offered. Even more, about a year ago, Dr. Michael Casey introduced a new elective course CEIE 472, "Building Information Management." It represents the state of the art in the area of virtual design and construction and obviously includes the use of computer graphics and the AutoCAD but the old course is still offered and has not been modified to reflect the introduction of the new course.

When CEE is considered, we must be aware of the existence of the vector of psychological inertia and try to deliberately minimize its impact. If we fail to do so, we will make only small quantitative changes within our domain, without the benefit of knowledge

beyond the realm of civil engineering. We must always remember that with improvement comes added value.

3. New Approaches Hold Promise and Potential

Systems Analysis

In the late 1940's, cybernetics emerged as a discipline dealing with abstract models of purposeful living organisms, artificial objects, or processes in nature and engineering, which were called "systems models", or simply "systems". Systems analysis created a revolution in our understanding of nature and engineering, revealing many common behavioral patterns and improving our ability to analyze and predict behavior of various systems. It allows the development of an abstract understanding of behavior of a given system in the context of its feedback with the environment in which it operates, including its past, present, and future responses (feedback) to the evolving environment. Presently, Systems Engineering (SE), a discipline descendent from cybernetics, is recognized as an engineering science and is taught to SE students, and also to civil engineering students. The recently updated and published *Civil Engineering Body of Knowledge for the 21st Century* [6] explicitly recognizes systems analysis as an appropriate and recommended analytical method for civil engineers. Systems analysis, and particularly the concept of a complex adaptive system provide an excellent understanding of CEE in general and objective systems terms.

Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ)

The history of TRIZ spans more than 60 years, two continents, and three political systems. Ultimately, TRIZ is a result of efforts of a large group of talented engineers and inventors. TRIZ (a Russian-based acronym for the Theory of Inventive Problem Solving) can be considered as a knowledge system. It contains a class of inventive problem solving methods and a body of abstract engineering knowledge, necessary and sufficient to conduct the generation of inventive design concepts (inventions) in the majority of engineering domains. TRIZ is based on three fundamental assumptions.

The first assumption is that the generation of inventive design concepts in a specific engineering domain can be conducted using inventive knowledge acquired from engineering patents awarded in many engineering domains and in various countries over a long time period, and from other traditional sources of engineering knowledge. Inventive knowledge can

be represented as heuristics (heuristic directives) formulated for various specific situations. Such heuristics are called "Patterns of Invention".

The second fundamental assumption deals with the evolution of engineering systems, built and abstract. This assumption maintains that when evolution of engineering systems over a time period is considered, they evolve not randomly, but according to objective patterns, called "Patterns of Evolution". Patterns of Evolution were discovered by Altshuller and other TRIZ researchers through learning from patents and from the history of engineering [1], [5], [11], [17]. There are nine patterns of evolution (Introduced in Section "Five Perspectives").

Finally, Altshuller has assumed that any inventive problem (i.e. problem requiring a novel and potentially patentable solution) requires elimination of contradictions, technical and physical. A technical contradiction is an interrelated pair of technical (abstract) contradictory characteristics of an engineering system. For example, *rigidity versus weight*. A physical contradiction occurs when a given physical characteristic of an engineering system should increase and decrease to satisfy different requirements. For example, the depth of a reinforced concrete beam should be maximized to increase rigidity and minimized to reduce weight. Typically, a physical contradiction results from a technical one. In the example, the technical contradiction is obviously *rigidity versus weight*.

There are many publications on TRIZ available in English, for example [2], [5], [7], [10], [12-15], [17].

4. Assumptions

Our analysis of CEE has been based on several assumptions, provided in this section.

- Our society constantly evolves, creating ever-growing demands for CEE.
- Globalization of the civil engineering market is a fact and competition is driven primarily by costs, quality, and novelty of designs and services.
- Traditional CEE offered in Europe and in many developing countries, particularly India, is much more extensive than in the US and often of comparable or better quality.
- The extent of CEE offered in this country has gradually been reduced (From 135 credit hours required 20 years ago to an average 125 today with many programs requiring only 120 hours).
- American civil engineers cannot win in the global competitive market based only on cost and

quality. They have to develop an innovation-based competitive advantage. Clearly, we won't win on numbers alone and we have to compete with better solutions and better ideas.

- CEE is the key to the future of our profession and in fact the key to the future of our nation.
- CEE is a system operating in an evolving environment.

5. Five Perspectives

Evolutionary Perspective

In accordance with TRIZ (see the Theory of Inventive Problem Solving), the evolution of engineering systems is driven by objective evolutionary mechanisms, called "Patterns of Evolution". These patterns are valid in all areas of engineering, including civil engineering education and practice. Many studies, going back to the late 1940's, of the tens of thousands of engineering patents in many countries revealed nine patterns of evolution of engineering systems [1], [5], [11], [17], including:

1. System evolution based on S-curve.
2. Resources utilization.
3. Uneven development of system elements.
4. Increased system dynamics.
5. Increased system controllability.
6. Increased complexity followed by simplification.
7. Matching and mismatching of system elements.
8. Transition to the micro-level and increased use of fields.
9. Transition to decreased human involvement.

All these patterns are relevant to the evolution of CEE, but our focus is only on the first pattern, which is explained here. It says that all engineering systems evolve over their life period following an S-curve pattern when a relationship between a specific system's characteristic and time is considered. That means that during a life cycle of a given system, several distinct evolutionary patterns can be distinguished, each of a different nature. They include the periods of childhood (slow growth), growth (rapid growth), maturity (no growth), and decline (negative growth), as shown in Figures 2 and 3. More importantly, this pattern also means that each engineering system has its life cycle and when it is completed (the system reaches its decline stage) it must be replaced by a system based on a different set of assumptions, on a different paradigm. For example, when planes are considered, there are separate S-curves for propeller-driven planes, turbo-propeller planes, and jet planes. We have a family of S-curves.

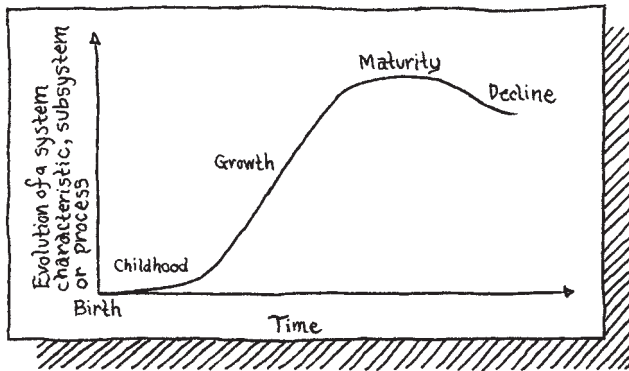


Fig. 2. System Evolution: S-Curve

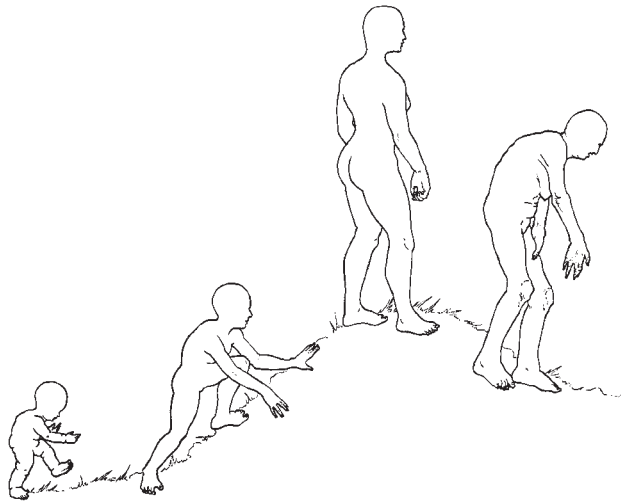


Fig. 3. S-Curve in Action

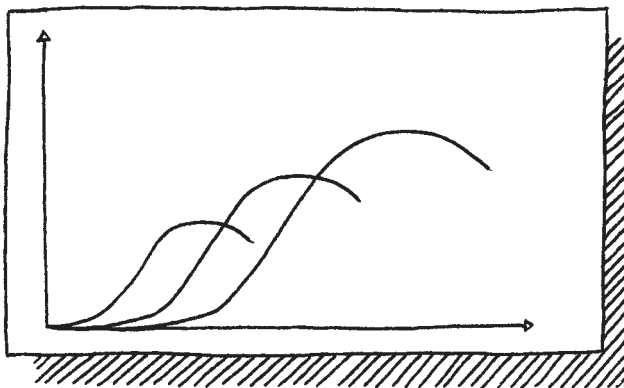


Fig. 4. Family of S-curves

In general, evolution of a system can be presented as a class of S-curves. Each separate curve represents evolution within a given paradigm or a quantitative evolution. A transition between curves represents a paradigm change, a qualitative change, or a revolutionary change.

In the area of CEE education, we can distinguish at least two paradigms, each with its separate S-curve when the success of our profession is considered, measured by our prestige, salaries, attractiveness to the best and brightest students, and other factors. Until about a hundred years ago, civil engineering education was based on the "master-apprentice paradigm". Throughout many centuries of practice, educating engineers was more an art than a science. Such teaching was a combination of rote learning (memorization of known facts and heuristics) and of acquisition of knowledge through learning by example and hands-on experience. An apprentice would produce abductively new hypotheses (plausible rules or heuristics) describing his/her recent experience and inductively verify them in the context of examples from experience. In this way, an apprentice would acquire not only new knowledge but would also learn how to conduct induction and how to abductively generate hypotheses, or new ideas about engineering (See Glossary for our definitions of induction and abduction). Abduction, or inference to the best explanation is the key to human learning and creativity. Therefore, the master-apprentice model of education produced not only civil engineers but also leaders and inventors. Unfortunately, it was time-consuming, costly and could produce only a limited number of engineers. Table 1 illustrates civil engineering knowledge associated with this paradigm [9].

At the end of the 19th Century, progress in science, particularly in mathematics and physics, changed the dynamics of engineering education. These changes resulted in a growing trend to teach engineering as a science, to focus on the "scientific", or the mathematical foundation of engineering. In this way, a "scientific paradigm" emerged and the focus of

Table 1. Civil Engineering Knowledge: Master-Apprentice Paradigm ([9], accepted)

		Categories			
		Scientific	Engineering	Civil Engineering	Domain - specific
Factual knowledge	Facts				XXX
	Models				
Procedural knowledge	Deterministic procedures				
	Heuristic procedures				XXX
Rules	Decision rules				
	Heuristics				XXX

engineering education changed. Instead on building a qualitative/holistic understanding of engineering based on heuristics, as before, the focus shifted to acquiring formal knowledge, an inflexible knowledge system. As a result, deduction, the process of deriving the consequences of what is assumed, became the main form of reasoning at the expense of abduction.

Deduction allows verification of a given hypothesis in the context of existing knowledge, but it cannot be used to generate a new hypothesis. Thus, an engineer trained mostly in deduction is an excellent follower, focused on satisfying existing regulations and rules of practice but unprepared to take the lead and to produce the new ideas that are critical to innovation and progress. The civil engineering knowledge associated with this paradigm is shown in Table 2. There is a significant difference with respect to the knowledge associated with the Master – Apprentice Paradigm ([9], accepted).

Today, the primary focus of civil engineering education is on analysis, on building quantitative understanding and numerical optimality, as it is in science. This analysis is mostly based on deduction. Civil engineering knowledge is still partially heuristic, although over the last century it has been supplemented by all kinds of mathematics- and physics-based theories, including complex mathematical models. We are all proud that civil engineering has become a science, but at the same time we are becoming painfully aware that the price for this progress is the loss of our creativity and excessive focus on the quantitative aspects of our profession. This shift from art to science has ultimately led to civil engineers losing their leadership and being inadequately prepared to deal with the complex challenges of the 21st century.

The scientific paradigm in civil engineering is today simply insufficient. It has to be critically examined and replaced by a new paradigm preserving its all-obvious advantages but at the same time providing knowledge, skills, and styles necessary for today. In the context of the S-curve Pattern of Evolution, the present evolution of CEE reached a period of decline and a paradigmatic change is a must.

Contradictions Analysis

The identified contradiction between national and local needs in CEE can be presented in the form of both technical and physical contradictions in accordance with TRIZ [1], [5]. Such formulations provide additional insight and allow using TRIZ "Inventive Principles" to find novel ways to eliminate the contradiction, although this is not the focus of this paper.

Our contradiction can be formulated as a **technical contradiction** between the **complexity** of a system and its **speed**. In this case, the complexity of CEE can be considered as a feature measured by the number of courses and their differentiation, and the **speed** of its delivery can be considered as a feature measured by the number of years necessary to deliver all courses required for graduation. TRIZ provides three inventive principles, which can be used to eliminate this technical contradiction. They include those of "Prior Action", (No. 10), "Replacement of a Mechanical System", (No. 28), and "Rejecting and Regenerating Parts", (No. 34). These inventive principles can be used to reinvent CEE and they are not fully described in this paper. However, their initial interpretation in the context of CEE provides a glimpse of opportunities for civil engineering educators willing to accept and take bold action.

The principle "Prior Action" can be interpreted in two ways [15].

- 1) Carry out all or part of the required action in advance.
- 2) Arrange objects so they can go into action in a timely manner and from a convenient position.

The first principle recommends a pre-civil engineering education understood as a required 1-4 year program to be taken BEFORE entering a civil engineering program. The second principle can be interpreted as a recommendation to divide incoming civil engineering freshmen into several cohorts in accordance with their knowledge and analytical intelligence, as measured, for example, by IQ. Each cohort would be provided an appropriate instruction and allowed to take demanding courses when ready.

Table 2. Civil Engineering Knowledge: Scientific Paradigm ([9], accepted)

		Categories			
		Scientific	Engineering	Civil Engineering	Domain - specific
Factual knowledge	Facts	XXX	XXX	XXX	XXX
	Models	XXX	XXX	XXX	XXX
Procedural knowledge	Deterministic procedures	XXX	XXX	XXX	XXX
	Heuristic procedures				
Rules	Decision rules	XXX	XXX	XXX	XXX
	Heuristics				

The principle "Replacement of a Mechanical System" can be interpreted as substituting traditional testing laboratories and facilities by virtual ones. More generally, this principle also means using distant learning and an all IT-based means of instruction. There are two interpretations of the inventive principle "Rejecting and Regenerating Parts":

- 1) After it has completed its function or become useless, reject or modify an element of an object.
- 2) Immediately restore any part or an object, which is exhausted or depleted.

In the first case, when a student fails a prescribed number of exams, he/she is immediately expelled from a program or offered a number of required non-credit courses to improve his/her performance. The second heuristic can be interpreted as conducting constant performance monitoring and immediate feed back in the form of individual counseling and tutoring to failing students.

Our fundamental contradiction can be formulated as a **physical contradiction** when the **number of courses** in civil engineering education is considered. This number must be increased and reduced at the same time. Both interpretations of this contradiction clearly demonstrate that it cannot be simply eliminated through quantitative changes within a given paradigm. This elimination requires a qualitative, or paradigmatic change, in addition to obvious quantitative improvements.

Complex Adaptive Systems Perspective

CEE can be considered as a Complex Adaptive System, which has three unique features:

- It is complex and has a sufficient number of subsystems and components allowing changes in its structure and components
- It has an ability to adapt, to change its structure and components as feedback to the changing environment
- It has an ability to learn, to acquire knowledge through inductive learning about its behavior and environment

In general terms, a complex adaptive system can be described as a learning system with an ability to undergo both qualitative/structural and quantitative/component level changes in response to its changing environment.

The still prevailing approach to civil engineering education is non-systemic. When CEE in a given department is considered (a specific program), it is usually assumed that a selected combination of courses is optimal and frozen in time. In addition, CEE usually operates only in the context of a

given university and of a local community of civil engineering practitioners, no matter how society, engineering, and the entire world evolve. However, when it is considered as a complex adaptive system, an entirely new understanding of the situation emerges. The environment of a given complex adaptive system, in our case a program offered by a given department, can also be considered as another complex adaptive system. It has a number of subsystems, including:

- An educational subsystem with coursework offered through civil engineering departments in this country and abroad
- A social system with national and international components
- A science subsystem representing national and global science and its evolution
- A cultural subsystem
- A political subsystem

All these subsystems evolve, most likely following their own separate and unique lines of evolution. As a result, the behavior of the environment cannot be entirely predicted and it produces often unexpected and undesired inputs to the education system, forcing it to evolve constantly and to change its behavioral patterns. Such unpredictable and unexpected behavior is called "emergent behavior" and must be recognized as a real possibility in the case of CEE. Usually, we do not immediately know how to comply with an emergent behavior, but being aware of the possibility of its occurrence is a proactive way of being responsible and concerned about the future.

When the environment of CEE is considered as a complex adaptive system, the traditional static understanding of CEE is simply inadequate and most likely wrong. Using it potentially may be harmful because it offers a simplistic understanding of the situation and puts its users in a disadvantageous position with respect to educators making decisions based on the complex adaptive system model of CEE.

Globalization Perspective

US civil engineering companies are involved in a fierce competition for market share – indeed for survival – with competitors from many countries that offer significant labor cost advantages. Changing the course of US civil engineering education to emphasize creative problem solving will create a novelty-driven competitive advantage. In addition, novel engineering solutions that directly address the specific challenges of a project can often produce significant cost savings [8].

Today, globalization of civil engineering work is an objective trend driven by costs, by the high quality of traditional civil engineering education in many developing countries, and by progress in information technology that has made outsourcing not only feasible but also inexpensive. Such a trend cannot be simply reversed; the proportion of engineering work being outsourced will continue to increase. The obvious consequence of such outsourcing will be reduced demand within the US for civil engineering services. Unfortunately, that may lead to the mass elimination of civil engineering jobs in this country, especially those related to routine work.

In practical terms, outsourcing can be offset, at least partially, only if a new demand for civil engineering services is created. Such demands will be driven by novel solutions and products, clearly the result of fresh thinking, creativity and unrelenting innovation. This work will have to utilize state-of-the-art knowledge and will require engineering creativity. Innovation and creativity combined with the highest levels of expertise will be the added value that prevents non-routine work from being outsourced, at least as long as this country maintains its competitive advantage in research and development and uses and applies recently acquired knowledge in a creative way to produce novel solutions.

Legacy Perspective

The future of civil engineering in the US depends on the quality of our successors. If high school students know that civil engineers are only followers and do mostly highly repetitive, routine work, the best, brightest, and most talented students will never enter civil engineering programs or will soon transfer to other disciplines such as electrical or computer engineering. Unfortunately, this is more than a pessimistic prediction; it is a troubling trend occurring in many civil engineering programs.

High salaries and job security are not enough to attract the brightest students. They are looking not only for material benefits but also for emotional awards, including novelty and excitement. Today there is not much excitement in civil engineering education and practice. The still strong enrollment numbers provide only false comfort. These numbers are more a reflection of the Internet bubble burst and of a still relatively strong demand for civil engineers than of the intellectual attractiveness of our profession. Also, we should be aware that the ongoing real estate crisis has already reduced the demand for civil engineers specializing in land development and that may lead to declining enrollments. If we are looking for

permanent solutions, we need to restore the past glory of civil engineering, and the excitement of being a civil engineer must be recreated.

Reconnecting civil engineering with creativity – with doing non-routine work – generates excitement. We can transform civil engineering education by teaching students how to become creative problem solvers, inventors leading the generation of novel solutions that contribute to the fundamental needs of society and advance our civilization.

6. Conclusion – A Storied Past. A Boundless Future

We live in a rapidly changing world in which progress in information technology and computing drives significant changes in science and technology, fuels globalization, and changes our society. In this context, for our profession to survive and especially to grow, CEE must continually evolve and never stop re-inventing itself. The five perspectives on CEE evolution noted earlier clearly explain why such evolution is simply a must.

CEE is a complex adaptive system, in constant motion. However, most of this consists of quantitative, gradual improvements without structural change. From time to time, environmental changes simply force civil engineering programs to adapt through qualitative changes requiring significant structural changes like the introduction of new outcomes, elimination of existing outcomes, changes in the required levels of performance, and significant changes in course offerings.

The marketplace demands that we continue to push for reform. As a profession, we must meet future challenges with the best ideas, and at the lowest cost. That is the key to competitive advantage in a global market. "Conventional approaches to such unconventional demands simply will not get the job done. Systematic innovation in products and processes is an imperative for competitive leverage" [12].

Today, we have to recognize that the evolution of CEE must become a part of our activities and that championing continual changes and improvements is simply a part of our responsibilities to society and to our students. Change requires time and effort and the vector of inertia is always hovering about. It is time for us to realize that we are too great a profession to limit ourselves to small dreams, and inaction is simply not an option. The stakes are just too high.

Glossary

- **Asystem** is a set of interrelated objects (subsystems) working together to provide a specific function,

which could not be provided by a single object or any subset of objects belonging to a given system.

- **A complex adaptive system** is a system with three major unique features:
 - It is complex, and has a sufficient number of subsystems and components allowing changes in its structure and components
 - It has an ability to adapt, to change its structure and components as feedback to the changing environment
 - It has an ability to learn, to acquire knowledge through inductive learning about its behavior and environment
- **Deduction** is a form of logical reasoning in which existing knowledge and new data are used to verify hypothesis about data
- **Induction** is a form of logical reasoning in which existing knowledge and new data in the form of examples are used to verify new hypothesis about data.
- **Abduction** is a form of logical reasoning in which existing knowledge and new data are used to generate new hypothesis about data, which, if verified by deduction or induction, can be used to expand existing knowledge.
- **Contradiction:** "Every great invention (a creative design concept) is the result of resolving a contradiction" [1]. Therefore, generation of inventive design concepts involves the elimination (resolution) of contradictions. There are two types of contradictions: technical and physical.
- **Technical Contradiction** is an interrelated pair of technical (abstract) contradictory characteristics of an engineering system. For example, *rigidity versus weight*.
- **Physical Contradiction** occurs when a given physical characteristic of an engineering system should increase and decrease to satisfy different requirements. For example, the depth of a reinforced concrete beam should be maximized to increase rigidity and minimized to reduce weight.
- **Inventive Principles** are heuristics acquired from patents and other sources. They are intended for the elimination of technical contradictions in the process of creative design concepts generation. In the early 1970s, Altshuller created the set of 40 inventive principles. Today, there over 400 inventive principles (called "Operators" in I-TRIZ) available.
- **Patterns of Evolution** are objective patterns describing changes in an engineering system over a long time period. They are valid in all engineering domains.

References

- [1] Altshuller G., *The Innovation Algorithm*, Moskowskii Rabochii Publishing House, (in Russian), 1969.
- [2] Altshuller G., *Creativity as an Exact Science*, Gordon and Breach, Science Publishers, Inc., 1984.
- [3] Altshuller G., *And Suddenly the Inventor Appeared, TRIZ, the Theory of Inventive Problem Solving*, Technical Innovation Center, Worcester, Massachusetts 1996.
- [4] Altshuller H., Boris Zlotin B., Alla Zusman A., Philatov V., *Searching for New Ideas: From Insight to Methodology; The Theory and Practice of Inventive Problem Solving*, Kishinev: Kartya Moldovenyaska, Publishing House, (In Russian), 1989.
- [5] Altshuller G., *The Innovation Algorithm*, Technical Innovation Center, Worcester, Massachusetts. 1999.
- [6] American Society of Civil Engineers. *Civil Engineering Body of Knowledge for the 21st Century, Preparing the Civil Engineer for the Future*, Second Edition, 2008.
- [7] Arciszewski T., *ARIZ 77 – An Innovative Design Method*, Journal of Design Methods and Theories, 22(2), 796-820, 1988.
- [8] Arciszewski T., *Civil Engineering Crisis*, ASCE Journal of Leadership and Management in Engineering, 6(1), 26-30, 2006.
- [9] Arciszewski T., Harrison C., *Successful Civil Engineering Education*, the ASCE Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, accepted, 2008.
- [10] Clarke D., *TRIZ: Through the Eyes of an American TRIZ Specialist*, Ideation, 1997.
- [11] Clarke D., *Strategically Evolving the Future: Directed Evolution and Technological Systems Development*, special double issue, "Innovation: the key to Progress in Technology and Society," Arciszewski, T., (Guest Editor), Journal of Technological Forecasting and Social Change, North-Holland, 64(2-3), 133-153. 2000
- [12] Fey V., Rivin E., *Innovation on Demand: New Product Development Using TRIZ*, Cambridge University Press, 2005.
- [13] Kaplan S., *Introduction to TRIZ, The Russian Theory of Inventive Problem Solving*, Ideation International, 1996.
- [14] Orloff M.A., *Inventive Thinking through TRIZ*, Springer, 2003.
- [15] Terninko J., Zusman A., Zlotin, B., *Systematic Innovation, An Introduction to TRIZ*, St. Lucie Press, 1998.
- [16] Wright G., van der Heijden K., Bradfield R., Burt G., Cairns G., *The Psychology of Why Organizations Can Be Slow to Adapt and Change*, Journal of General Management, 29(4), 21-36, 2004.
- [17] Zlotin B., Zusman A., *Directed Evolution: Philosophy, Theory, and Practice*, Ideation International, 2006.

LOAD-BEARING CAPACITY OF WOODEN BEAMS REINFORCED WITH COMPOSITE SHEETS

Abstract

The paper presents preliminary data on load-bearing capacity of wooden beams reinforced with composite sheets subjected to static bending. The tensile part of beams was reinforced with composite sheets from S&P Clever Reinforcement AG. Glass sheet S&P G-Sheet AR 50/50, aramid sheet S&P A-Sheet 120/290 and carbon sheet S&P C-Sheet 240/400 were used. Basing on the tests results it can be concluded that the load-bearing capacity rose in the range 20-48% due to the application of one-layer reinforcement. The obtained results are promising and indicate future research possibilities especially with the use of carbon sheets.

Keywords: wood, wooden beams reinforcement, composites, composite sheet

1. Introduction

Over the years composites have become basic materials used in construction engineering to strengthen elements. They are most widely applied to reinforce concrete and reinforced concrete structures, while less masonry and wood structures. Composites are also used to reinforce construction elements from other materials, including wood and wood-like materials.

Wood is reinforced mainly with composite laminates. Fewer cases deal with sheets. Due to a small number of studies on wood reinforcement with composite

sheets, this issue is still being investigated in Poland and abroad, eg. [1, 2].

The paper presents the problem of wooden beams reinforced with composite sheets. The preliminary strength test results have been presented aimed at determining a degree of reinforcement with glass, aramid and carbon fibers.

2. Strength test of beams reinforced with composite sheets

The strength tests covered static bending of wooden beams without reinforcement and reinforced with

Table 1. Parameters of the composite sheet with glass fibers S&P G-Sheet AR 50/50 [6]

Elastic modulus [kN/mm ²]	65
Tensile strength (virgin filament) [N/mm ²]	3000
Sheet weight (total 350 g/m ²) [g/m ²]	175 in both directions
Density [g/cm ³]	2.68
Elongation at rupture [%]	4.3
Design thickness (fibre weight/density) [mm]	0.065
Theoretical design cross-section 1000 mm width [mm ²]	65 (fibre area only/each direction)
Reduction factor for design (manual lamination / UD sheet)	1.4 (recommended by S&P)
Tensile force of 1000 mm width for design [kN]	(65 × 3000)/1.4 = 139.3 each direction
Application:	– Explosion protection – Reinforcing of masonry or historic buildings – Seismic retrofitting

Table 2. Parameters of the composite sheet with aramid fibers S&P A-Sheet 120/290 [4]

Elastic modulus [kN/mm ²]	120
Tensile strength [N/mm ²]	2900
Fibre weight (main direction) [g/m ²]	290
Weight per unit area of sheet [g/m ²]	320
Density [g/cm ³]	1.45
Elongation at rupture [%]	2.5
Design thickness (fibre weight/density) [mm]	0.20
Theoretical design cross-section 1000 mm width [mm ²]	200
Reduction factor for design (manual lamination / UD sheet)	1.3 (recommended by S&P)
Tensile force of 1000 mm width for design [kN]	$(200 \times 2900)/1.3 = 446.2$
Application:	– Impact protection – Explosion protection

Table 3. Parameters of the composite sheet with carbon fibers S&P C-Sheet 240/400 [5]

Elastic modulus [kN/mm ²]	240
Tensile strength [N/mm ²]	3800
Fibre weight (main direction) [g/m ²]	400
Weight per unit area of sheet [g/m ²]	430
Density [g/cm ³]	1.7
Elongation at rupture [%]	1.55
Design thickness (fibre weight/density) [mm]	0.234
Theoretical design cross-section 1000 mm width [mm ²]	234
Reduction factor for design (manual lamination / UD sheet)	1.2 (recommended by S&P)
Tensile force of 1000 mm width for design [kN]	$(234 \times 3800)/1.2 = 744.0$
Application:	– Flexural enhancement (low quality of substrate) – Axial load enhancement of columns – Replacement of stirrups in columns

composite sheets by S&P Clever Reinforcement Company AG. Three types of sheets have been used with fibers:

- glass fibers S&P G-Sheet AR 50/50 of elastic modulus $E = 65$ GPa,
- aramid fibers S&P A-Sheet 120/290 of elastic modulus $E = 120$ GPa,
- carbon fibers S&P C-Sheet 240/400 of elastic modulus $E = 240$ GPa.

The technical parameters of the sheets have been given in Tables 1-3.

Figure 1 presents the investigated beams reinforced with one-layer sheets from glass fibers S&P G-Sheet AR 50/50, aramid fibers A-Sheet 120/290 and carbon fibers S&P C-Sheet 240/400.

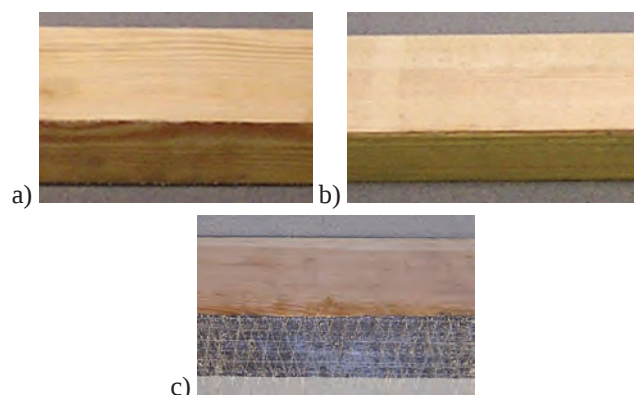


Fig. 1. View of one – layer reinforcement of wooden beams with sheets from: (a) glass fibers S&P G-Sheet AR 50/50; (b) aramid fibers S&P A-Sheet 120/290; (c) carbon fibers S&P C-Sheet 240/400

The tests have been initiated with the view to analyse beams reinforced with one – layer sheets. However, due to better properties of carbon fiber sheets as well as their high strength parameters, two – layer reinforcement of this sheets has also been considered. The nominal dimensions of the beams were $b \times h \times L = 6 \times 8 \times 144$ cm. The four point bending scheme has been adopted as shown in Figure 2. During the measurements the force F and deflection w in the center of the beams were recorded.

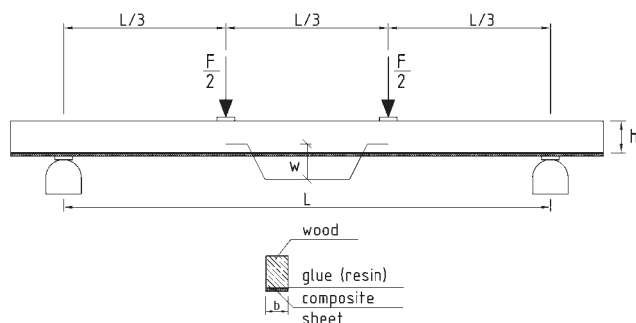


Fig. 2. Scheme of the static bending of wooden beams reinforced with composite sheets

Figure 3 presents the testing stand, on which static bending of the beams was realised.



Fig. 3. Testing stand

In the first experimental stage the elastic parameters of wood were determined according to [3]. For $n = 10$ beams the mean of the elastic modulus along the material fibers was $EL = 9030 \pm 425.6$ MPa at standard deviation of $s = 686.7$ MPa and the confidence level 95%.

The bending strength was taken as the parameter determining the strength of wood, according to [3]. The mean value was $f_m = 46.9$ MPa for the failure stress from 34.3 to 56.6 MPa. Due to a significant scatter of the results obtained, which is typical for wood, in the next tests the same elements were analysed before and

after reinforcement. Thanks to that, the comparison of the values was made for the same material and the impact of the non-uniformity of wood on the results was reduced.

In the next stage the load-bearing capacity of beams reinforced with composite sheets was determined. The load-bearing capacity was defined as the maximum force F_{max} in given experiment, according to the scheme shown in Figure 2.

Next, load-bearing capacity of beams of dimensions $b \times h \times L = 6 \times 3.8 \times 68.4$ cm cut out from reinforced beams, was tested. Load-bearing capacity of beams of dimensions $b \times h \times L = 6 \times 3.8 \times 68.4$ cm was calculated into that those of beams of dimensions $b \times h \times L = 6 \times 8 \times 144$ cm so that the results could be a reference source for the reinforced beams. Consequently, load-bearing capacity of the reinforced beams could be referred to the same elements and the same wood before and after reinforcement.

3. Test results of selected beams reinforced with composite sheets

3.1. Beams without reinforcement

Destruction of the wooden beams without reinforcement occurred at the bottom of the central part (Fig. 4) due to the maximum bending moment, leading to exceeding the tensile strength of the wood at bottom fibers.



Fig. 4. Destruction of the wooden beam without reinforcement, a) the whole element, b) closer view

Analysing the graph of force – deflection $F(w)$ shown in Figure 5, it needs to be noted that the decrease of the beam's stiffness occurred quite soon – in the middle of the test. The destruction of the material took place in stages. After the maximum force was achieved, an abrupt decrease in strength and material's strengthening occurred until complete destruction.

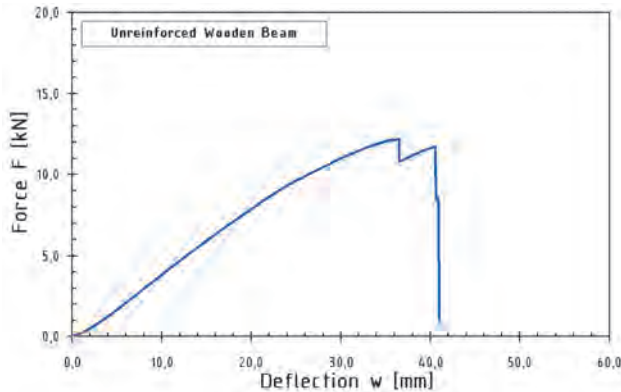


Fig. 5. The graph of force – deflection $F(w)$ of the wooden beam without reinforcement

3.2. Beams reinforced with sheets from glass fibers S&P G-Sheet AR 50/50

In the case of beams reinforced with sheets from glass fibers S&P G-Sheet AR50/50 the destruction covered both the structure of wood and the composite reinforcement at the bottom of the central part. No destruction of the composite sheets was recorded at the support zones. The destruction of the composite sheets and the wood occurred at the final stage of beams' operation due to the loss of strength of the composite fibers.



Fig. 6. View of the destroyed beam reinforced with composite sheet from glass fibers S&P G-Sheet AR 50/50 (one – layer reinforcement), a) the whole element, b) closer view

The transition of the beams reinforced with sheets from glass fibers S&P G-Sheet AR 50/50 into a non – linear range occurred quite early – for ca. 0.4 of the maximum deflection. In the next stage flattening of the graph of force – deflection $F(w)$ was observed until destruction, which took place abruptly. It can be seen in Figure 7.

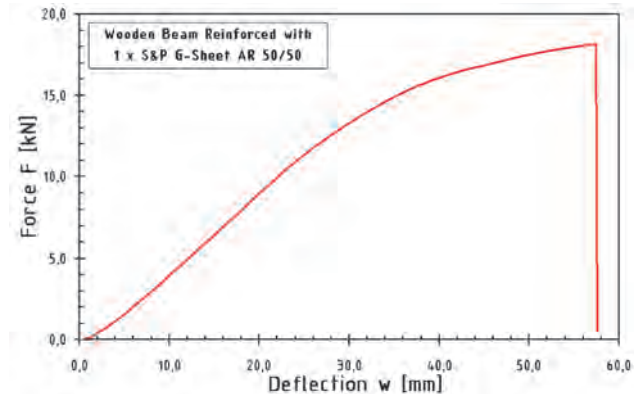


Fig. 7. The graph of force – deflection $F(w)$ of the wooden beam reinforced with the composite sheet from glass fibers S&P G-Sheet AR 50/50 (one – layer reinforcement)

3.3. Beams reinforced with sheets from aramid fibers S&P A-Sheet 120/290

One of the beams reinforced with sheets from aramid fibers S&P A-Sheet 120/290 was destroyed both in the central part (where the wood structure broke) and at the support zones. In the latter case the wood was sheared just above the reinforcement. The strength of wood was a decisive factor behind the loss of load-bearing capacity, while the destruction of the sheet from aramid fibers was insignificant. The structural non – uniformity was also the cause of the destruction. In the case of other locations of the defects in the material a typical destruction patterns were observed.



Fig. 8. View of the destroyed beam reinforced with composite sheet from aramid fibers S&P A-Sheet 120/290 (one – layer reinforcement), a) the whole element, b) closer view

In the analysed case the destruction occurred in stages, which can be easily noticed in Figure 9. The decrease in stiffness, indicating the transition of the material into the non – linear range took place very early at ca. 0.30 of the maximum deflection. Next, the decrease of the force was observed and destruction, which occurred in several stages covering wood structure and displacement of the reinforcement sheet.

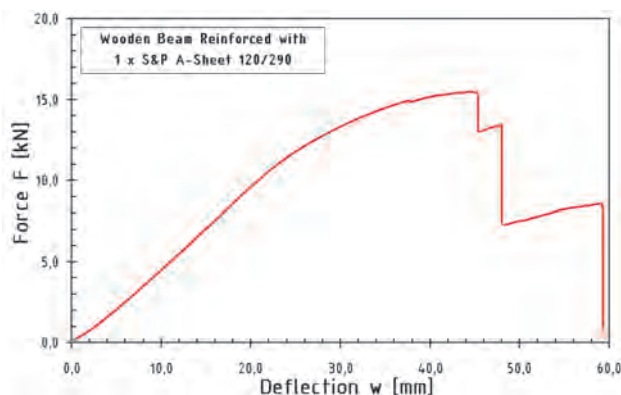


Fig. 9. The graph of force – deflection $F(w)$ of the wooden beam reinforced with the composite sheet from aramid fibers S&P A-Sheet 120/290 (one – layer reinforcement)

3.4. Beams reinforced with sheets from carbon fibers S&P C-Sheet 240/400

Similarly to the beams reinforced with sheets from glass fibers, in the case of the application of carbon fibers S&P C-Sheet 240/400 the destruction covered the wood structure and the composite reinforcement at the bottom of the central part without the destruction of the sheet at support zones.



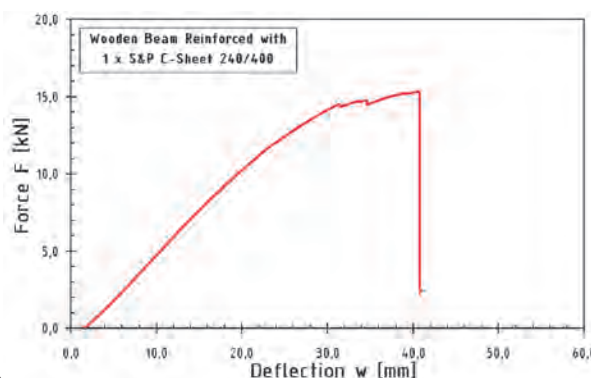
Fig. 10. View of the destroyed beam reinforced with composite sheet from carbon fibers S&P C-Sheet 240/400 (one – layer reinforcement), a) the whole element, b) closer view



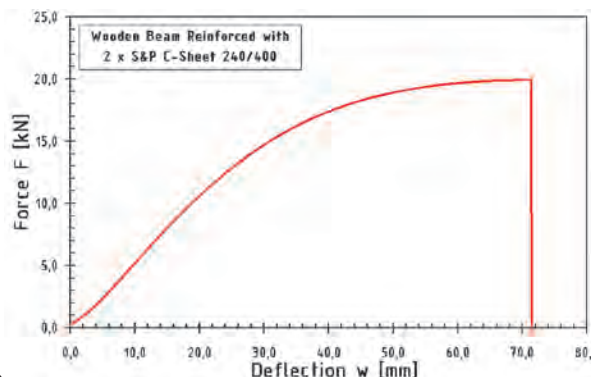
Fig. 11. View of the destroyed beam reinforced with composite sheet from carbon fibers S&P C-Sheet 240/400 (two – layer reinforcement), a) the whole element, b) closer view

The destruction of the beams occurred at the final stage due to the loss of strength of the composite fibers. The described way of destruction was observed both for the one – layer and two – layer reinforcement (Fig. 10 and 11).

The graphs of force – deflection $F(w)$ of the beams reinforced with sheets from carbon fibers S&P C-Sheet 240/400 were also similar to those obtained for beams reinforced with sheets from glass fibers. In the case of the application of a single layer of reinforcement the transition of the material into the non – linear range occurred at ca. 0.5 of the maximal deflection (Fig. 12a). In the case of the application of a two – layer reinforcement it took place earlier at 0.3 of the maximum deflection, whose value was significantly higher (Fig. 12b) in comparison to the deflections recorded for the other beams reinforced with composite sheets.



a)



b)

Fig. 12. The graphs of force – deflection $F(w)$ of the wooden beams reinforced with the composite sheet from carbon fibers S&P C-Sheet 240/400, a) one – layer reinforcement, b) two – layer reinforcement

In the case of a one – layer reinforcement the destruction occurred in stages with force decreasing at the end of the test (Fig. 12a). For the reinforcement with two – layer sheet from carbon fibers the flattening of the graph force – deflection $F(w)$ was observed until destruction, which took place abruptly as presented in Figure 12b.

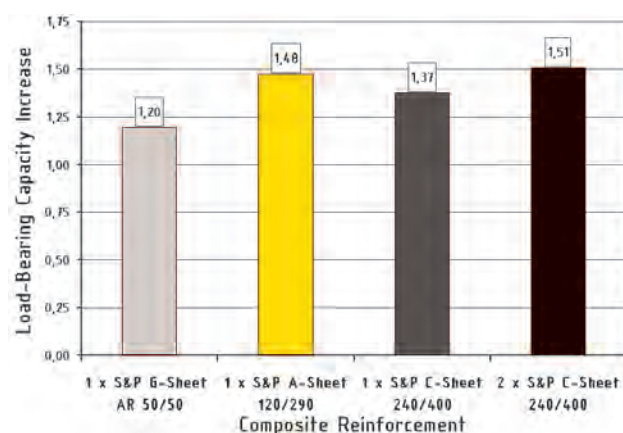
Table 4. Test results of selected beams reinforced with composite sheets

Composite sheet	Load-bearing capacity of beams without reinforcement $F_{0,max}$ [kN]	Load-bearing capacity of beams with reinforcement $F_{r,max}$ [kN]	Reinforcement ratio $F_{r,max} / F_{0,max}$
Glass fibers S&P G-Sheet AR 50/50 (one – layer reinforcement)	15.2	18.2	1.20
Aramid fibers S&P A-Sheet 120/290 (one – layer reinforcement)	10.5	15.5	1.48
Carbon fibers S&P C-Sheet 240/400 (one – layer reinforcement)	11.2	15.4	1.37
Carbon fibers S&P C-Sheet 240/400 (two – layer reinforcement)	13.2	19.9	1.51

4. Load-bearing capacity of selected beams reinforced with composite sheets

Basing on the results of the tests one should notice a significant increase in load-bearing capacity of beams reinforced with all types of composite sheets – from glass, aramid and carbon fibers. Load-bearing capacity of selected beams defined as the maximum force in bending $F_{r,max}$ increased by 20% in the case of the application of sheets from glass fibers S&P G-Sheet AR 50/50, 48% in the case of aramid fibers S&P A-Sheet 120/290 and 37% for sheets from carbon fibers S&P C-Sheet 240/400. The highest increase in loading of 51% was observed if the two – layer reinforcement from carbon fibers S&P C-Sheet 240/400 was applied. The test results and increase in load-bearing capacity of beams reinforced with composite sheets have been presented in Table 4.

The increase in load-bearing capacity of beams reinforced with composite sheets has been graphically presented in Figure 13.

**Fig. 13.** The increase in load-bearing capacity of selected beams reinforced with composite sheets

5. Summary

The analysis of the preliminary test results indicates that the application of the reinforcement in the form of composite sheets leads to the significant increase in load-bearing capacity of wooden beams. This effect observed in the beams reinforced with one – layer reinforcement was 20% in the case of the sheets from glass fibers S&P G-Sheet AR 50/50, 48% in the case of the sheets from aramid fibers S&P A-Sheet 120/290 and 37% in the case of the application of sheets from carbon fibers S&P C-Sheet 240/400. Two – layer reinforcement from carbon fibers S&P C-Sheet 240/400 led to an increase in load-bearing capacity by 51%.

It can be concluded that composite sheets can be successfully used for reinforcement of beams and other wooden elements subjected to bending.

The transition of the preliminary results obtained in this study to real elements, namely wooden beams of cross – sectional dimensions between ten and twenty centimeters suggests that the best solution would be the two – layer composite reinforcement. From the technological point of view the best solution is the use of sheets from carbon fibers since their application and glueing is much more comfortable than sheets from glass and aramid fibers.

It should be concluded that composite sheets are a very good reinforcing material, which significantly increases load-bearing capacity of the wooden beams almost without increasing their cross – sectional dimensions. The application of reinforcement in the form of composite sheets helps to rise the class of the timber wood with regard to its bending strength by maximally several orders, which is a considerable effect from the practical point of view.

References

- [1] Gentile C., Svecova D., Rizkalla S., *Timber beams strengthened with GFRP bars: development and applications*, Journal of Composites for Construction 6(2002), pp. 11–20.
- [2] Jasieńko J., *Połączenia klejowe i inżynierskie w naprawie, konserwacji i wzmacnianiu zabytkowych konstrukcji drewnianych*, DWE, Wrocław 2003.
- [3] PN-EN 408:2010, *Timber structures – Structural timber and glued laminated timber – Determination of some physical and mechanical properties*.
- [4] S&P A-Sheet 120 Technical Data Sheet, S&P Clever Reinforcement Company AG, Seewen.
- [5] S&P C-Sheet 240 Technical Data Sheet, S&P Clever Reinforcement Company AG, Seewen.
- [6] S&P G-Sheet AR 50/50 Technical Data Sheet, S&P Clever Reinforcement Company AG, Seewen.

Paweł Kossakowski

Nośność belek drewnianych wzmocnionych matami kompozytowymi

1. Wprowadzenie

Na przestrzeni ostatnich lat kompozyty stały się podstawowymi materiałami używanymi w budownictwie do wzmacniania elementów konstrukcyjnych. Najczęściej kompozyty są stosowane do wzmacniania różnego rodzaju konstrukcji betonowych i żelbetowych, w mniejszym stopniu murowych i stalowych. Kompozyty znajdują również zastosowanie do wzmacniania elementów konstrukcyjnych wykonanych z innych materiałów, w tym drewna i materiałów drewnopochodnych.

Kompozyty stosowane do wzmacniania drewna to przede wszystkim lamele, które stosowane są w oparciu o systemy opracowane dla innych materiałów konstrukcyjnych. W mniejszym stopniu elementy drewniane wzmacniane są przy pomocy mat kompozytowych. Należy zaznaczyć, że z uwagi na nieliczne opracowane systemy wzmacniania konstrukcji drewnianych kompozytami pozwalające na precyzyjne szacowanie stopnia wzmocnienia, tematyka ta jest wciąż przedmiotem prowadzonych badań w kraju, a także za granicą np. [1, 2].

W niniejszym artykule podjęto i przedstawiono problematykę dotyczącą wzmacniania belek drewnianych przy użyciu mat kompozytowych. Przedstawiono wstępne wyniki badań wytrzymałościowych belek z drewna sosnowego, ukierunkowane na ocenę stopnia wzmocnienia przy zastosowaniu mat kompozytowych z włókien szklanych, aramidowych i węglowych.

2. Badania wytrzymałościowe belek wzmocnionych matami kompozytowymi

Przeprowadzone badania obejmowały testy wytrzymałościowe w zakresie zginania statycznego belek drewnianych bez wzmocnień oraz wzmocnionych matami kompozytowymi firmy S&P Clever Reinforcement Company AG. Zastosowano 3 rodzaje mat kompozytowych z włókien:

- szklanych S&P G-Sheet AR 50/50 o module sprężystości włókien $E = 65$ GPa,
- aramidowych S&P A-Sheet 120/290 o module sprężystości włókien $E = 120$ GPa,
- węglowych S&P C-Sheet 240/400 o module sprężystości włókien $E = 240$ GPa.

Parametry techniczne zastosowanych mat kompozytowych zestawiono w tabelach 1-3.

Na rysunku 1 pokazano badane belki wzmocnione jednowarstwowo matami z włókien szklanych S&P G-Sheet AR 50/50, aramidowych A-Sheet 120/290 i węglowych S&P C-Sheet 240/400.

W badaniach założono, że analizowane będą belki drewniane wzmocnione matami kompozytowymi jednowarstwowo, jednakże z uwagi na najlepsze własności aplikacyjne mat z włókien węglowych oraz ich wysokie parametry sprężysto-wytrzymałościowe, przeanalizowano również wzmocnienie belek drewnianych dwiema warstwami tych mat.

Badaniom wytrzymałościowym poddano belki z drewna sosnowego o wymiarach nominalnych

$b \times h \times L = 6 \times 8 \times 144$ cm, które zginano w zakresie statycznym. Przyjęto schemat statyczny tzw. „czteropunktowego” zginania pokazany na rysunku 2. W trakcie pomiarów rejestrowano w sposób ciągły siłę (obciążenie) F i ugięcie środkowej części przekroju belek w .

Na rysunku 3 pokazano stanowisko badawcze, na którym realizowano próbę statycznego zginania belek.

W pierwszym etapie badań określono parametry sprężyste drewna zgodnie z [3]. Dla liczebności próby $n = 10$ belek wartość średnia modułu sprężystości podłużnej drewna wyniosła $E_L = 9030 \pm 425,6$ MPa, przy odchyleniu standardowym $s = 686,7$ MPa oraz założonym poziomie ufności 95%.

Jako parametr określający wytrzymałość badanego drewna w kolejnym etapie wyznaczono jego wytrzymałość na zginanie zgodnie z [3]. Wyznaczona wartość średnia wytrzymałości na zginanie wyniosła $f_m = 46,9$ MPa dla zakresu naprężeń niszczących $34,3 \div 56,6$ MPa. Z uwagi na duży rozrzut uzyskanych wyników, który jest typowy dla drewna, w dalszych badaniach przyjęto metodę badania tych samych elementów, przed i po wzmocnieniu. Dzięki temu porównywane wielkości odnoszono do tego samego materiału, przez co zredukowano wpływ niejednorodności drewna na uzyskane wyniki.

W kolejnym etapie wykonano badania nośności belek wzmocnionych matami kompozytowymi. Nośność badanego elementu zdefiniowana została jako maksymalna siła (obciążenie) F_{max} w danej próbie, zgodnie ze schematem pokazanym na rysunku 2.

Następnie wykonano badania nośności belek o wymiarach $b \times h \times L = 6 \times 3,8 \times 68,4$ cm, które wycięto z belek wzmocnionych. Nośności dla belek o wymiarach $b \times h \times L = 6 \times 3,8 \times 68,4$ cm przeliczono na nośności belek o wymiarach $b \times h \times L = 6 \times 8 \times 144$ cm, tak aby uzyskane wyniki stanowiły wartości referencyjne dla belek wzmocnionych. Tym samym nośności belek wzmocnionych mogły być odnoszone do tych samych elementów i tego samego drewna przed i po wzmocnieniu.

3. Wyniki badań wybranych belek wzmocnionych matami kompozytowymi

3.1. Belki bez wzmocnień

Zniszczenie belek drewnianych bez wzmocnień następowało w spodniej części strefy środkowej (rys. 4), na skutek działania maksymalnego momentu gnącego powodującego przekroczenie wytrzymałości na rozciąganie drewna w skrajnych włóknach dolnych.

Analizując wykres zginania siła-ugięcie $F(w)$ pokazany na rysunku 5 należy zauważyć, że spadek sztywności belki następował dość wcześnie, bo w połowie próby. Zniszczenie materiału zachodziło etapowo. Po osiągnięciu nośności elementu następował gwałtowny spadek siły i wzmocnienie materiału, aż do całkowitego zniszczenia.

3.2. Belki wzmocnione matami z włókien szklanych S&P G-Sheet AR 50/50

W przypadku belek wzmocnionych matami z włókien szklanych S&P G-Sheet AR50/50 zniszczenie obejmowało zarówno strukturę drewna jak i wzmocnienie kompozytowe w spodniej części strefy środkowej. Nie stwierdzono zniszczeń mat kompozytowych w strefach przypodporowych. Zniszczenie mat kompozytowych oraz drewna następowało w końcowej fazie pracy belek na skutek utraty wytrzymałości na rozciąganie włókien kompozytowych.

Przejście belek wzmocnionych matami z włókien szklanych S&P G-Sheet AR 50/50 w nieliniowy zakres pracy materiału następowało dość wcześnie, bo dla około 0,4 maksymalnego ugięcia. W dalszym etapie obserwowano wypłaszczenie wykresu siła-ugięcie $F(w)$, aż do zniszczenia, które następowało w sposób nagły i niesygnalizowany, co widać wyraźnie na rysunku 7.

3.3. Belki wzmocnione matami z włókien aramidowych S&P A-Sheet 120/290

Jedna z belek wzmocnionych matą z włókien aramidowych S&P A-Sheet 120/290 została zniszczona zarówno w strefie środkowej, gdzie doszło do zniszczenia struktury drewna, jak również w strefie przypodporowej. W tym drugim przypadku nastąpiło ścięcie drewna wzdłuż słoików, tuż nad wzmocnieniem. O utracie nośności belki zdecydowała wytrzymałość drewna, natomiast zniszczenia maty z włókien aramidowych były nieznaczne. Wpływ na obserwowane zniszczenie miała również nieciągłość struktury materiałowej w postaci sęka, który był jego inicjatorem. W przypadku innej lokalizacji tego typu defektów obserwowano zniszczenia typowe dla pozostałych wzmocnionych elementów.

W przypadku analizowanej belki zniszczenie następowało etapowo, co widać wyraźnie na wykresie siła-ugięcie $F(w)$. Spadek sztywności sygnalizujący przejście materiału w zakres nieliniowy następowało bardzo wcześnie, na poziomie około 0,30 ugięcia maksymalnego. W dalszym etapie obserwowano obniżenie siły i zniszczenie zachodzące w kilku etapach, obejmujące strukturę drewna oraz delaminację wzmocnienia z maty aramidowej.

3.4. Belki wzmocnione matami z włókien węglowych S&P C-Sheet 240/400

Analogicznie do belek wzmocnionych matami z włókien szklanych również w przypadku zastosowania mat z włókien węglowych S&P C-Sheet 240/400 zniszczenie obejmowało zarówno strukturę drewna jak i wzmocnienie kompozytowe w spodniej części strefy środkowej, bez zniszczenia mat kompozytowych w strefach przypodporowych. Zniszczenie belek następowało w końcowej fazie pracy na skutek utraty wytrzymałości na rozciąganie włókien kompozytowych. Opisany sposób zniszczenia obserwowano zarówno przy zastosowaniu wzmocnienia jednowarstwowego jak i dwuwarstwowego (rys. 10 i 11).

Wykresy zginania siła-ugięcie $F(w)$ belek wzmocnionych matami z włókien węglowych S&P C-Sheet 240/400 były również zbliżone do wykresów uzyskanych dla belek wzmocnionych matami z włókien szklanych. W przypadku zastosowania pojedynczej warstwy wzmocnienia przejście materiału w zakres nieliniowy następowało przy poziomie około 0,5 maksymalnego ugięcia (rys. 12a). W przypadku zastosowania podwójnej warstwy wzmocnienia moment ten występował wyraźnie wcześniej, bo już przy około 0,3 ugięcia maksymalnego, którego maksymalna wartość była wyraźnie wyższa (rys. 12b) w porównaniu do ugięć rejestrowanych dla pozostałych belek wzmocnionych matami kompozytowymi.

W przypadku zastosowania wzmocnienia pojedynczego zniszczenie następowało etapowo, co uwidoczniło się spadkami siły zarejestrowanymi pod koniec testu (rys. 12a). Dla wzmocnienia podwójną matą z włókien węglowych obserwowano wypłaszczenie wykresu siła-ugięcie $F(w)$, aż do zniszczenia, które następowało w sposób nagły i niesygnalizowany, co widać wyraźnie na rysunku 12b.

4. Nośność wybranych belek wzmocnionych matami kompozytowymi

Analizując wyniki przeprowadzonych badań należy przede wszystkim zauważyć wyraźny i znaczący wzrost nośności belek wzmocnionych wszystkimi rodzajami mat kompozytowych, z włókien szklanych, aramidowych i węglowych. Nośność wybranych belek definiowana jako maksymalna siła (obciążenie) **w próbie zginania** $F_{r,max}$ wzrosła o 20% w przypadku zastosowania mat z włókien szklanych S&P G-Sheet AR 50/50, 48% w przypadku zastosowania mat z włókien aramidowych S&P A-Sheet 120/290 i 37% w przypadku zastosowania mat z włókien węglowych S&P C-Sheet 240/400. Najwyższy wzrost nośności

o 51% zaobserwowano w przypadku zastosowaniu podwójnej warstwy wzmacniającej z włókien węglowych S&P C-Sheet 240/400. Wyniki prób zginania i wzrostu nośności wybranych belek wzmocnionych matami kompozytowymi zestawiono w tabeli 4.

Wzrost nośności belek wzmocnionych matami kompozytowymi przedstawiono graficznie na wykresie pokazanym na rysunku 13.

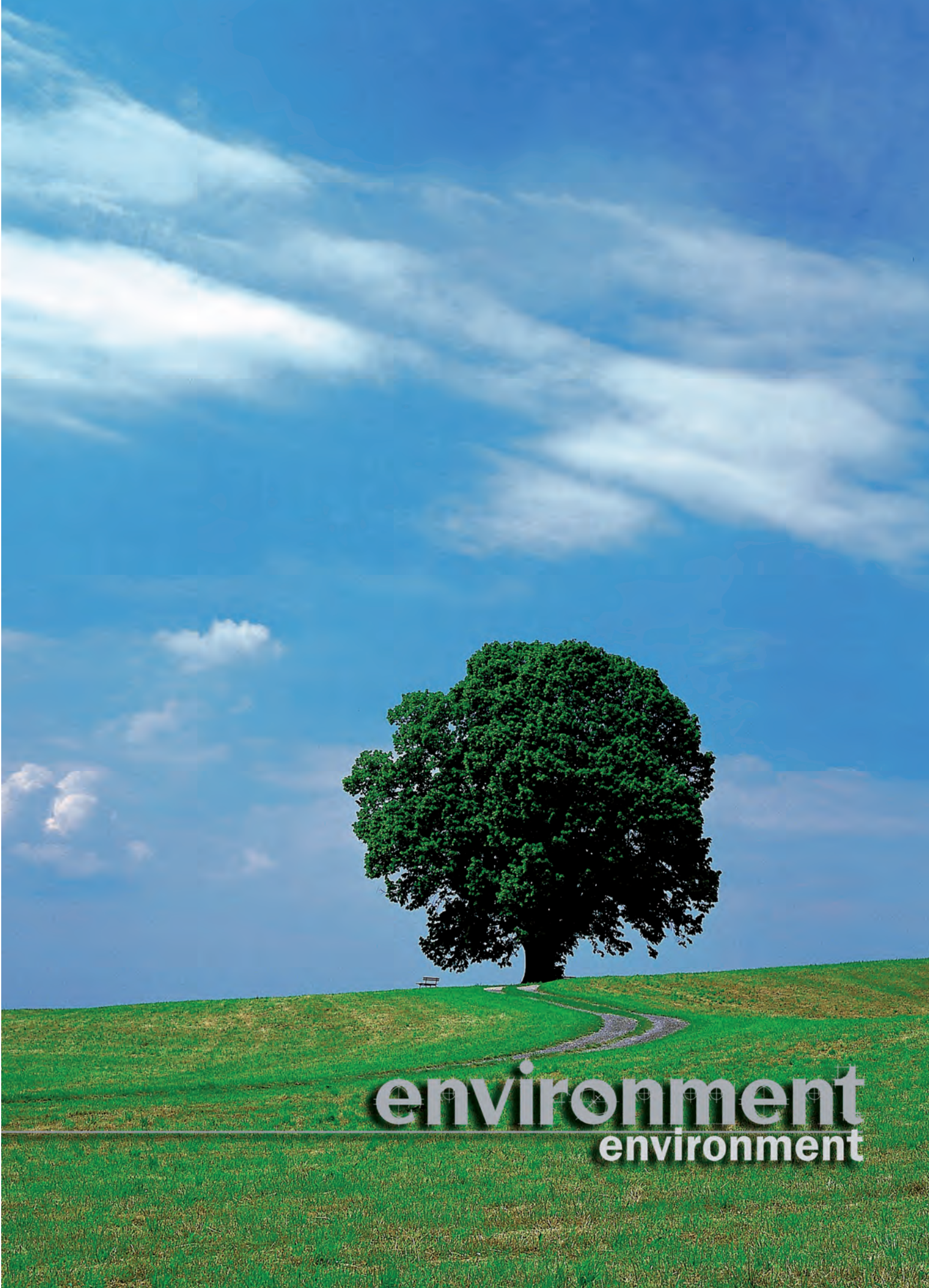
5. Podsumowanie

Analizując wyniki przeprowadzonych badań wstępnych należy, że w wyniku zastosowania wzmocnienia rozciąganej części przekroju matami kompozytowymi uzyskano zauważalne efekty w zakresie podniesienia nośności belek drewnianych. Wzrost nośności w grupie wybranych belek wzmocnionych jednowarstwowo wyniósł 20% w przypadku zastosowania mat z włókien szklanych S&P G-Sheet AR 50/50, 48% w przypadku zastosowania mat z włókien aramidowych S&P A-Sheet 120/290 i 37% w przypadku zastosowania mat z włókien węglowych S&P C-Sheet 240/400. Przy zastosowaniu podwójnej warstwy maty z włókien węglowych S&P C-Sheet 240/400 wzrost nośności wyniósł 51%.

Można zatem z stwierdzić, że maty kompozytowe z powodzeniem mogą znaleźć zastosowanie do wzmacniania belek oraz innych drewnianych elementów konstrukcyjnych poddanych zginaniu.

Odnosząc uzyskane wstępne wyniki badań do elementów rzeczywistych, tj. belek drewnianych o wymiarach boków przekroju poprzecznego rzędu kilkunastu centymetrów, można przewidywać, że najlepszym rozwiązaniem byłoby zastosowanie wzmocnienia w postaci podwójnej warstwy maty kompozytowej. Z technologicznego punktu widzenia najlepszym rozwiązaniem jest stosowanie mat z włókien węglowych, gdyż ich przygotowanie i klejenie jest o wiele wygodniejsze w porównaniu do mat z włókien szklanych i aramidowych, których montaż jest trudniejszy.

Podsumowując należy stwierdzić, że maty kompozytowe to bardzo dobry materiał wzmacniający, który znacząco podwyższa nośność belek drewnianych w zasadzie bez zwiększania wymiarów przekroju poprzecznego. Zastosowanie wzmocnienia przy pomocy mat kompozytowych pozwala na podniesienie klasy drewna sosnowego w zakresie wytrzymałości na zginanie maksymalnie o kilka rzędów, co z praktycznego punktu widzenia jest efektem znaczącym.



environment
environment

IZABELA ANT CZAK¹
ANITA BANAŚ²

Kielce University of Technology, SKNIŚ „EKOLOG”
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
25-314 Kielce, Poland

¹ e-mail: izabela1908@gmail.com

² e-mail: anitabanas@op.pl

IZABELA KAPUŚCIŃSKA

Firma „IKA”

e-mail: izabela06@onet.pl

THE USE OF THERMOVISION IN THE ESTIMATION OF THERMAL ENERGY LOSSES OF BUILDINGS

Abstract

The article describes the implementation of temperature measurement using infrared devices. Discusses the sources of errors and their impact on the final result. The test results conducted on selected buildings have also been given.

Keywords: thermovision, energy losses, temperature

1. Introduction

In the era of modern construction and special attention to energy efficiency of residential and commercial buildings the control the heat flow became important. Heat transfer through partitions and leakages outside the building waste energy and it becomes necessary to reheat. This results in the increasing cost of living and burning more fuel. To investigate this phenomenon infrared tests were carried out showing heat transfer through the walls. These studies help to assess the quality of the isolation, indicating whether it is optimal or if it is necessary to insulate, seal cracks, etc. Temperature measurements using infrared cameras are based on the measurement of radiation intensity as determined by the Stefan-Boltzmann law. Thermal imaging devices work by recording infrared radiation emitted by objects. The basic element is a matrix of infrared detectors. The camera receives radiation emitted by the object, reflected from the object and from the sources in the environment and the atmosphere. Prior to measuring with the camera, entering data is needed which affects the proper temperature namely: the emissivity of the observed object, distance between the camera and the object, humidity. Thermal imaging system software should perform filtering resulting

in thermal maps using appropriate algorithms. The correct interpretation of the study must take into account the possibility of measurement errors, which include errors of the method (errors to determine an object emissivity, the error caused by the influence of the environment, etc.), replication errors (related to the actual conditions of the development, which often differ from those adopted by following of the device) or an electronic circuit errors (caused by the camera components and how they work) [1].

The main source of uncertainty in measurement errors method is the determination of the emissivity. It affects the accuracy of the calculation of the operating system thermal imaging camera. Inadequate emissivity value can cause over or underestimation of the temperature. This issue is less important, if studies are conducted to determine the location of the thermal anomaly in the object (e.g. thermal bridges), and not the actual temperature of the element [1–3]. The measurement limitations and examples are discussed in the literature of this subject, for example in [4–7].

2. Thermal measurements of selected objects

Before performing the test the outdoor temperature and humidity, which affects the measurement results must be measured first. The use of thermal imaging

techniques in the evaluation of thermal insulation will be presented on the example of three buildings.

The first building is the church pw. św. Jacka Odrowąża in Leszczyny. The building is 400 years old, is not thermally insulated. Plastering was renewed most recently in 2003. Figure 1 shows the thermograph of the window on the Northern side.

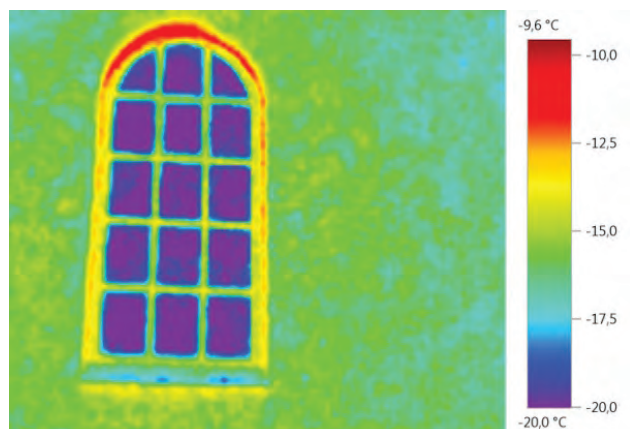


Fig. 1. The church's thermograph in Leszczyny

The temperature distribution around the window has been presented in the thermograph. The hottest area is located directly above the window, where most intense heat exchange occurs. Building openings are often sources of heat losses, which are related to common thermal bridges. Thermal studies were performed to test the temperature differences between the parts of a building on a single wall.

The second object was a single-family house in Leszczyny. It was built in 1993. Wall structurally composed of bricks and brick type Siporex. The building has a basement with a later extension to the building, surrounded by warmth garage. The picture shows the Southern side of the building with the door to the terrace and the balcony.

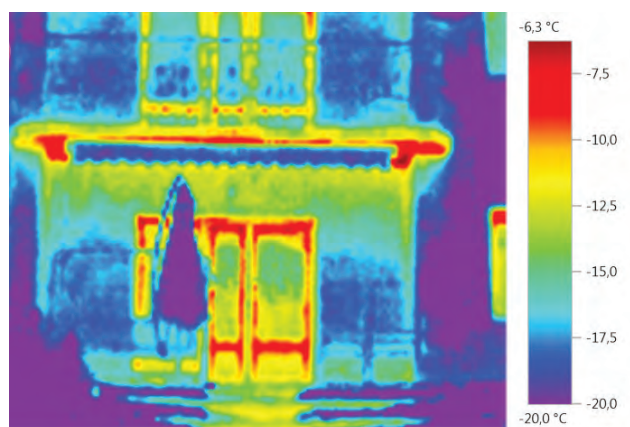


Fig. 2. Thermograph of a single-family house No.1

The thermograph presents heat losses through the slots in the windows. At the bottom of the stairs there is also a temperature difference, but it is related to the intensity of light reflected on the surface of the stairs that the camera recorded. In fact, such a difference does not occur here. The losses in the balcony are also visible, but it is an interesting phenomenon that the balcony is a kind of a heat exchanger such as a rib, which "draws" the heat from the building. Structurally it is an extension of the floor, which causes the "escape" of heat from the inside of the building. This phenomenon is also shown in Figure 3, for the wall of the balcony on the Eastern side. Clearly visible here is a typical temperature distribution along the rib length. This problem can be solved through a separate structure for balconies, supported by columns, for example, so that it would not be connected to the ceiling of the building.

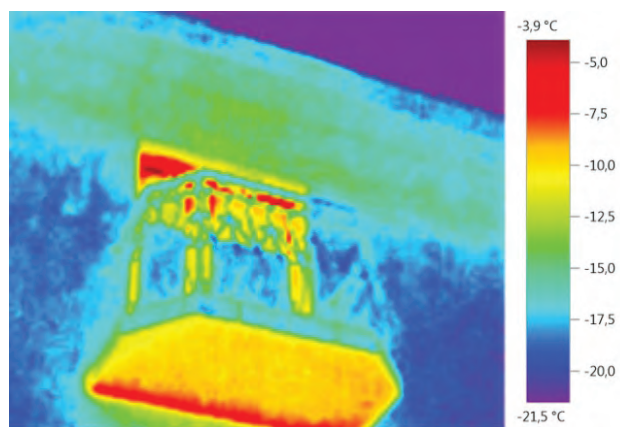


Fig. 3a. Thermograph of the balcony wall

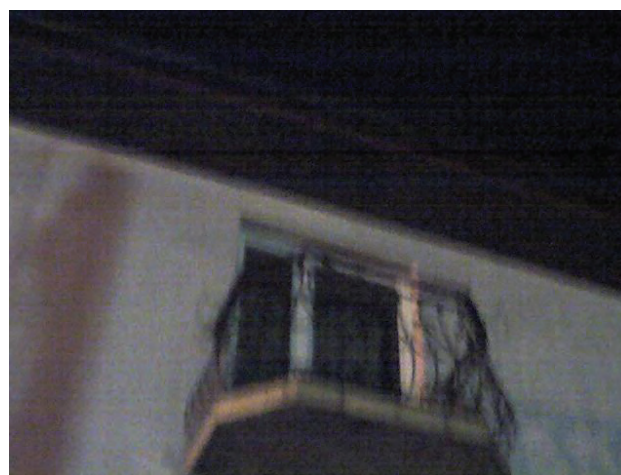


Fig. 3b. Digital photo of the balcony wall

The third building, on which the measurements were made, was also a single-family house. The house was built from bricks – max thickness 29 cm,

thermal insulation 15 cm. The building was designed as two-storey. The attic was insulated with mineral wool 10 cm at the plate and 15 cm in the roof. This building experiences an increased heat loss in the area of the basement. The following figures show the thermograph of the basement walls and the temperature distribution on the wall of the ground floor and basement.

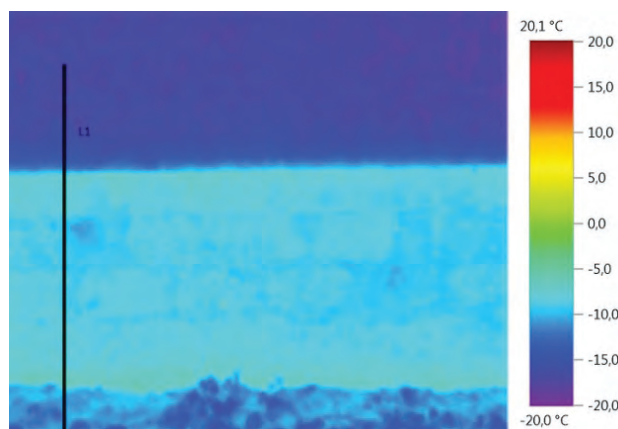


Fig. 4a. Ground floor house 2

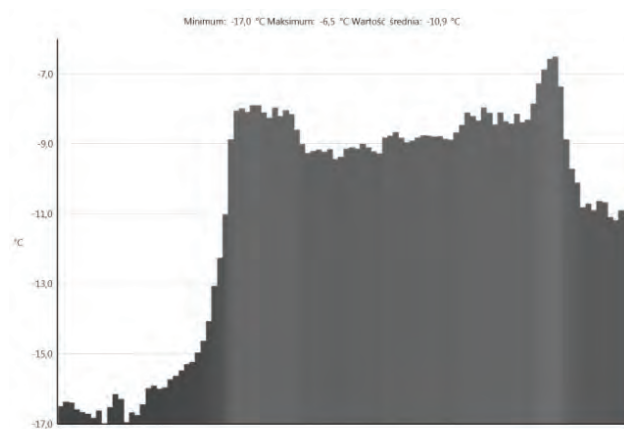


Fig. 4b. Line L1

The ground floor of the building is not well insulated, the heat transfer in this area is much greater than the wall above. The chart clearly shows the L1 temperature distribution on the surface of the walls and basement of the building. The temperature on the wall above is much smaller because of the good insulation of the barrier in comparison to the basement wall.

For this building thermograph of the front of the window and the balcony (on the right) was also made. On the thermograph particularly intense heat exchange in the area of window lintels can be seen. Balcony wall is slightly warmer. This may be due to some shieldering from the outside walls and the roof, or increased resistance to heat transfer in this area.

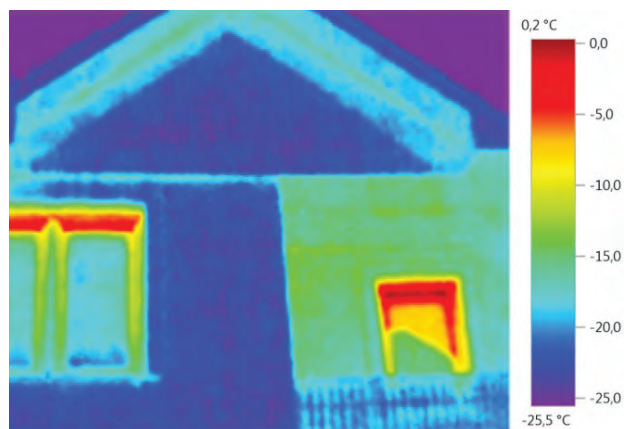


Fig. 5. Thermograph of residential building No. 2

In the presented object there is also a garage for one car – the gateway's thermograph of temperature distribution along the line L2 has been shown in Figures 6a and 6b, respectively.

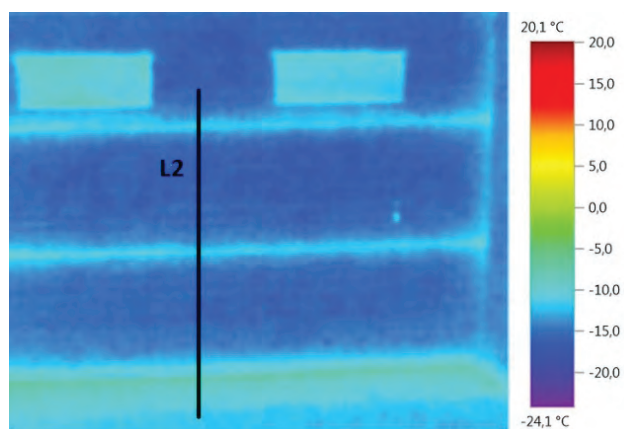


Fig. 6a. Thermogram of the garage door.

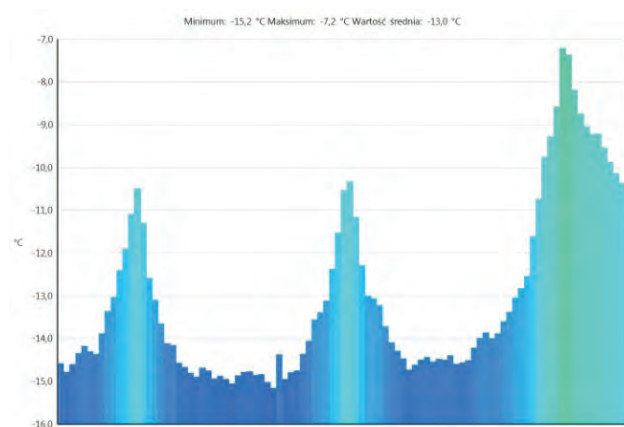


Fig. 6b. Line L2

The gate to the garage is the place where it was made. Heat is lost through gaps in this door. High density heat output occurs also at the bottom between the gate and the substrate concrete. This is clearly

visible on the thermograph of the garage door and L2 lines on the graph, which shows particularly high penetration of heat to the outside.

3. Summary

Infrared measurements play an important role in the study of heat losses in buildings. It helps to locate the source of leaks and, thus, reduce expenditure on energy consumption. This is due to a reduction in costs resulting from excessive heating of buildings. An important element of these measurements is the temperature distribution on the surfaces. This can be used when choosing the proper insulation to avoid excessively thick layer of insulation. Errors can result from the improper selection of emission factors or wrong interpretation of images from the camera. Currently, a suitable processing program is attached to each device that allows the results obtained to be read, processed and prepared for use in the report. Measurements of thermal imaging are more and more common and will be used extensively in the future

References

- [1] Minkina W., *Pomiary termowizyjne – przyrządy i metody*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2004.
- [2] Orman Ł.J., *Badania termowizyjne w ocenie termoizolacyjności budynków*, Instal 4A/2009, s. 19–23.
- [3] Orman Ł.J., *Wykorzystanie techniki termowizyjnej w wybranych aplikacjach inżynierskich*, Informatyka Automatyka Pomiary w Gospodarcie i Ochronie Środowiska, nr 3, 2011, s. 3–5.
- [4] Orman Ł.J., Orzechowski T., *Uwarunkowania pomiarowe termowizji do oceny stanu technicznego obiektów – przykłady zastosowań*, ВІСНИК, vol. 2/1, nr 5, 2005, s. 70–75.
- [5] Orzechowski T., Orman Ł.J., *Measurement errors in thermovision diagnostics of machinery*, Science Report, CEEPUS Project PL-0007: Modern Metrology in Quality Management Systems. General Editors: S.Adamczak, P.H.Osanna, Kielce University of Technology, 2006, s. 209–216.
- [6] Orzechowski T., Orman Ł., *Badania termowizyjne jako narzędzie do szacowania wpływu parametrów pracy emitora na propagację zanieczyszczeń powietrza*, Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, vol. 38, nr 4, 2004, s. 139–145.
- [7] Orman Ł.J., Sulek M., *Diagnostyka metodą termografii w podczerwieni w ocenie termoizolacyjności i charakterystyki energetycznej*, Mat. Konf. "Terotechnologia 2009", Kielce, s. 325–330.

Izabela Antczak
Anita Banaś
Izabela Kapuścińska

Wykorzystywanie termowizji w ocenie strat energii cieplnej budynków

1. Wstęp

W dobie nowoczesnego budownictwa i szczególnej dbałości o energooszczędność budynków mieszkalnych i usługowych ważne stało się kontrolowanie przepływu ciepła. Przenikanie ciepła przez przegrody i nieszczelności na zewnątrz budynku powoduje straty energii i konieczne staje się dogrzewanie. Powoduje to wzrastające koszty utrzymania, spalanie większej ilości paliw. Aby tego uniknąć wykonuje się badania termowizyjne wykazujące przenikanie ciepła przez ściany. Badania te pomagają w ocenie jakości wykonanej izolacji, wskazując czy jest ona optymalna, czy konieczne jest docieplenie, uszczelnienie szczelin itp. Pomiar temperatury przy pomocy kamer

termowizyjnych opiera się na pomiarze natężenia promieniowania określanego według prawa Stefana-Boltzmana. Urządzenia termowizyjne działają na zasadzie rejestracji promieniowania podczerwonego emitowanego przez obiekty. Podstawowym elementem urządzeń termowizyjnych jest matryca detektorów. Oprogramowanie systemu urządzenia termowizyjnego uwzględnia: promieniowanie emitowane przez obiekt, odbite od obiektu oraz pochodzące od źródeł w otoczeniu i atmosfery. Przed przystąpieniem do wykonania pomiaru do kamery należy wprowadzić dane mające wpływ na prawidłowe określenie temperatury, należą do nich: współczynnik emisji obserwowanego obiektu, odległość dzieląca kame-

rę i obiekt, wilgotność powietrza. Oprogramowanie systemu termowizyjnego powinno przeprowadzić filtrowanie uzyskanej mapy termalnej przy zastosowaniu odpowiednich algorytmów. Prawidłowa interpretacja przeprowadzonych badań musi uwzględniać możliwość wystąpienia błędów pomiarowych, wśród których wyróżniamy błędy metody (błędy określenia emisyjności obiektu, błąd spowodowany wpływem otoczenia itp.), błędy wzorowania (związane z rzeczywistymi warunkami prowadzenia badań, które najczęściej różnią się od tych, jakie przyjęto przy wzorowaniu urządzenia) czy błędy toru elektronicznego (wynikające z właściwości elementów składowych kamery i sposobu ich działania) [1].

Głównym źródłem niepewności pomiarów są błędy metody, a w szczególności błąd określenia współczynnika emisji. Wpływa on bowiem na precyzję obliczeń systemu operacyjnego kamery termowizyjnej. Nieodpowiednia wartość emisyjności może spowodować zawyżenie lub zaniżenie odczytywanej temperatury. Kwestia ta jest mniej istotna, jeśli badania prowadzone są w celu określenia miejsc występowania anomalii w polu termalnym obiektu (np. mostki cieplne), a nie wyznaczenia temperatury rzeczywistej na elemencie [1–3]. Uwarunkowania pomiarowe i przykłady podaje literatura np. [4–7].

2. Pomiary termowizyjne wybranych obiektów

Przed przystąpieniem do wykonywania badań należy najpierw wykonać pomiary temperatury zewnętrznej i wilgotności powietrza, co wpływa na uzyskane wyniki pomiarów. Wykorzystanie techniki termowizyjnej w ocenie termoizolacyjności zostanie zaprezentowane na przykładzie trzech obiektów.

Pierwszy budynek to kościół pw. św. Jacka Odrowąży w Leszczynach. Budynek ma 400 lat, jest kamienny nie zaizolowany termicznie, otynkowanie odnowione ostatnio w 2003 roku. Rysunek 1 prezentuje termogram okna od strony północnej.

Na termogramie widoczny jest rozkład temperatur wokół okna. Widać, że najcieplejszy obszar znajduje się bezpośrednio nad oknem, gdzie zachodzi najintensywniejsza wymiana ciepła. Otwory budowlane są często źródłami strat ciepła, co jest związane m.in. z występującymi mostkami cieplnymi. Badania termowizyjne mają na celu sprawdzić jakie różnice temperatur występują między tymi częściami budynku a jednolitą ścianą.

Drugim obiektem był dom jednorodzinny w Leszczynach. Wybudowany został w 1993 roku. Konstrukcyjnie ściany składają się z cegły dziurawki

i pustaka typu siporex. Budynek jest podpiwniczony z dobudowanym do budynku, nieocieplonym garażem. Na zdjęciu widoczna jest strona południowa budynku, na dole zdjęcia wyjście na taras, w górnej jego części – wyjście na balkon.

Na termogramie widoczne są straty ciepła przez szczeliny w oknach. Na samym dole na schodach również uwidacznia się różnica temperatur, ale jest to związane z natężeniem promieniowania odbitego na powierzchni schodów, które wychwyciła kamera. W rzeczywistości taka różnica w tym miejscu nie występuje. Na balkonie również widoczna jest strata przez szczeliny w oknie, ale ciekawym zjawiskiem jest to, że balkon jest niejako elementem wymiennika ciepła tj. żebrem, które „wyprowadza” ciepła z budynku. Konstrukcyjnie jest to przedłużenie stropu, co powoduje „ucieczkę” ciepła z budynku na zewnątrz. To zjawisko przedstawia również rysunek 3, dla ściany z balkonem od strony wschodniej. Wyraźnie widać tu typowy dla żebra rozkład temperatury wzdłuż długości. Można rozwiązać ten problem poprzez osobną konstrukcję dla balkonów, wspartych np. na kolumnach, nie połączonych ze stropem budynku.

Trzecim budynkiem, na którym wykonywane były pomiary, był również budynek jednorodzinny. Dom zbudowany jest z pustaka typu Max ułożonego głównie o grubości 29 cm, zastosowano izolację cieplną 15 cm. Budynek wykonano jako dwukondygnacyjny, poddasze ocieplano wełną mineralną 10 cm pod blachą i 15 cm w stropie.

W tym budynku obserwowano zwiększone straty ciepła w obszarze przyziemia. Poniższe rysunki pokazują termogram ściany przyziemia i rozkład temperatur na ścianie parteru i w przyziemiu. Przyziemie budynku nie jest wystarczająco dobrze zaizolowane, a przenikanie ciepła w tym obszarze jest znacznie większe niż na ścianie powyżej. Na wykresie linii L1 wyraźnie widać rozkład temperatur na powierzchni ściany i przyziemia budynku. Temperatura na ścianie powyżej jest znacznie mniejsza ze względu na dobrą izolacyjność tej przegrody w porównaniu ze ścianą przyziemia.

Dla tego budynku wykonano również termogram frontu z oknem pokojowym i balkonowym (po prawej stronie). Na termogramie widoczna jest intensywna wymiana ciepła szczególnie w rejonie nadproża okien. Ściana przybalkonowa jest nieco cieplejsza. Może być to spowodowane pewnym osłonięciem od środowiska zewnętrznego ścianami i zadaszeniem, czyli zwiększonym oporem przejmowania ciepła w tym obszarze.

W rozpatrywanym obiekcie znajduje się również garaż na jeden samochód – termogram bramy wraz z rozkładem temperatury na linii L2 zamieszczono odpowiednio na rysunkach 6a i 6b. Brama do garażu posiada miejsca, w których się ona składa. Są to szczeliny, przez które traci się ciepło. Duże gęstości strumienia ciepła wyprowadzane jest również u dołu między bramą a podłożem betonowym. Wyraźnie jest to widoczne zarówno na termogramie bramy garażowej jak i na wykresie linii L2, gdzie obserwuje się miejsca szczególnie dużego przenikania ciepła na zewnątrz.

3. Podsumowanie

Termowizja odgrywa ważną rolę w badaniu strat ciepła w budynkach. Pomaga ona zlokalizować źródło nieszczelności i zmniejszyć tym samym wydatki na zużycie energii. Wiąże się to z redukcją kosztów wynikających z nadmiernego ogrzewania budynków. Ważnym elementem tych pomiarów jest rozkład temperatury na powierzchniach. Można to wykorzystać przy doborze odpowiedniej izolacji, aby uniknąć zbyt grubej warstwy ocieplenia. W badaniu kamerą termowizyjną należy pamiętać o występujących błędach. Mogą one wynikać z doboru złych współczynników emisji czy złej interpretacji obrazów z kamery. Obecnie do każdego urządzenia dołączany jest odpowiedni program umożliwiający obróbkę uzyskanych wyników, ich odpowiednie odczytanie i przygotowanie do wykorzystania w raporcie. Pomiary termowizyjne to jedna z branż, która rozwija się intensywnie i będzie wykorzystywana w przyszłości.

JOLANTA LATOSIŃSKA¹
ALICJA TURDAKOW²

Kielce University of Technology
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
25-314 Kielce, Poland

¹e-mail: jlatosin@tu.kielce.pl,

²e-mail: alicja.turdakow@wp.pl

THERMAL UTILIZATION OF MUNICIPAL SEWAGE SLUDGE – EXAMPLES OF POLISH SOLUTIONS

Abstract

Sewage sludge is a byproduct of municipal wastewater treatment. Utilization of sewage sludge is regulated by the Polish and EU laws. According to the Best Available Techniques (BAT) for sewage sludge combustion it is regarded to be the technology based on the fluidized bed. Poland has not got long experience in the combustion of municipal sewage sludge. This article presented three wastewater treatment plants with thermal utilization of sewage sludge: Gdańsk, Łomża, Warszawa.

Keywords: sewage sludge, combustion, thermal utilization station

1. Introduction

Sewage sludge is a byproduct of municipal wastewater treatment. Today's scientific advancement still does not allow us to avoid it. It is estimated that municipal sludge comprises 2% of sewage flowing in the wastewater treatment plant [4].

In 2010, Poland generated 526.7 thousand tons of sewage sludge dry matter [5]. A real amount of sewage sludge requiring disposal reaches an amount of 332.4 thousand tons more, which are accumulated on the areas of sewage treatment stations from the past years [5, 6]. Due to predictions, in the year 2014, the amount of sewage sludge is to reach 651 thousand tons of dry matter, and in the year 2018 – 726 thousand tons [6].

Depending on the place of sludge fetching, we distinguish: preliminary sludge, secondary sludge, mixed sludge and chemical sludge [7]. In view of sludge stabilization conditions, the following are distinguished: sludge stabilized aerobically (biostabilization), sludge treated anaerobically (methane fermentation) and sludge stabilized chemically. The technological line of sewage sludge treatment, consisting of thickening, stabilization, dehydration, hygienization (depending on the solution applied), aims at the sewage sludge preparation for the final disposal [8].

Due to its chemical, physical, and microbiological characteristics it may present a potential risk to the human health and environment [9].

According to the valid regulations, the processing of municipal sewage sludge should be performed in accordance with regulations defining the waste disposal principles [1–3]. From 1 January 2013, the disposal of sludge which has not been properly processed is forbidden [2, 19]. Under the regulations [19], sending sewage sludge to the landfill is allowed only for sludge which has the calorific value lower than 6.0 MJ/kg d.m., contains less than 5% of total organic carbon, and its loss on ignition is not higher than 8% d.m. Municipal sewage sludge includes total organic carbon in amount of more than 5%.

The environmental use of sludge allows us to benefit from its soil-forming and manurial qualities and is regulated by waste act [1], regulations [11, 20], and a directive [21].

The reuse of sludge on the agricultural lands is limited by the high levels of the heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons, tetrachlorodibenzodioxin, polychlorinated biphenyl and pathogenic organisms contamination [16].

The environmental use of sewage sludge gains no social acceptance, and in addition, it is seasonal.

Furthermore, there are no suitable areas for this purpose. According to the National Waste Management Plan, only 7.5% of total number of sewage treatment plants provide sludge which can be used in agriculture [15].

An alternative to agricultural utilization of sewage sludge may be the thermal utilization. Such a solution is in common use in densely populated countries (particularly in urban – industrial agglomerations), such as Japan or Germany [17].

Table 1. Calorific value of sewage sludge in comparison to other energy sources [18]

Parameter	Sewage sludge	Waste carbon sludge	Hard coal	Brown coal	Wood waste
Calorific value [MJ/kg]	18–21,5	8–16	25–30	8–16	13
Ash [%]	30	30–60	5.3	10–20	0.8
Carbon [%]	50	31	88	66	50.7
Hydrogen [%]	6	3.7	6	5	5.9
Sulphur [%]	1.0	1–1.5	0.8	0.7–7	0.04

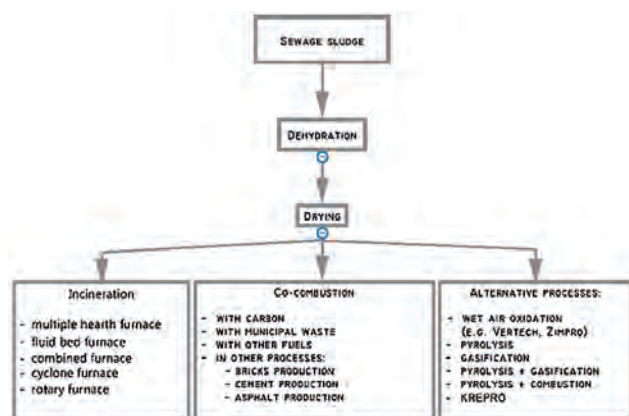


Fig. 1. Methods of thermal utilization of municipal sewage waste [9]

The methods of thermal sludge utilization have a range of advantages such as [18]:

- reducing the mass and volume of the waste before it is further processed; a sludge volume of 1 m³ and of hydration in amount of 65% is reduced to ca. 0.1 m³ of ash,
- ability to reuse the energy contained sewage sludge,
- ability of monitoring the deleterious substances emissions,
- the solid products and post-process remains which are sanitary safe; post-process waste requires further utilization by reason of the potentially negative effect on the environment.

On 30 June 2010 there were three sewage sludge combustion plants of a total efficiency of 37300 tons per year. More and more sewage treatment plants are being equipped with the installations allowing to dry and thermally process the sludge. These will deal with 189 thousands of tons of municipal sewage sludge dry matter per year [6]. According to the predictions included in the National Waste Management Plan of 2010, in 2018 60% of the municipal sewage sludge dry matter is going to be utilized thermally [22].

2. Polish examples of thermal sludge processing

According to the Best Available Techniques Reference Document (BREF) of August 2006 for specifying the Best Available Techniques (BAT) for waste combustion, "In installations working mainly for purpose of sewage sludge combustion, BAT is regarded to be the technology based on the fluidised bed, because of the fact that it performs a high combustion efficiency and a low volume of exhausts generated" [26].

2.1. The sewage sludge thermal utilization station in Gdańsk-Dębogórze

The first Polish sewage sludge thermal utilization station was created in the year 1994 in Gdańsk. In 2006, the decisions on modernization were made. Some of the most significant changes are [23]:

- implementation of ammonia water shot into the furnace highest temperature zone,
- replacing an exhaust scrubber with the bigger one,
- required measuring devices mounting,
- the fundamental rebuilding of the basic heat exchanger,
- power-supply system modernization,
- equipping the installation with the PLC controllers based control system.

These modifications allowed to increase the installation efficiency and to adhere to regulations based on the EU law.

The installation underwent many serious failures and defects. Examples of them are as follows [23]:

- too high productivity of the transporters of movable container button,
- malperformance of transporting the sludge between the pop tank and the sludge pump,
- prototype sludge shredder construction errors,
- blocking of the shredder screen,
- burners exploitation problems.

The "Dębogórze" station receives ca. 60000 m³ sewage/day. Sewage sludge treatment consists of gravity and mechanical thickening, aerobic

stabilization of excess activated sludge in thermophilic conditions, anaerobic mesophilic digestion of mixed sludge and dewatering in chamber presses.

Sludge dried (75-50% d.m.) in a rotary dryer is passed to the sludge incineration plant. Ashes from the sludge incineration are deposited on an internal landfill, isolated from the nearby soil and groundwater with a double geomembrane [22].

The capacity of the incineration station is 65–80 tons/day and the dehydrated sludge humidity is about 70%. Its heating value is 1700-2200 kJ/kg. The process is performed in a fluidised bed combustor [22].

The incineration installation provides no power gain. All the heat released at incineration stage is used in the sludge drying process [22].

2.2. The sewage sludge thermal utilization station in Łomża

Sewage treatment plant in Łomża releases around 7 thousand tons of activated sludge per year. In the past, it used to be exploited by agriculture. Nowadays, due to the agriculture becoming more and more ecological, there are several problems with the sludge disposal. In order to find the way of treating the activated sludge, a process of thermal mineralization of sludge with heat recovery for dehydrated sludge drying was introduced [24].

The installation efficiency is 7 thousand tons of sludge per year. The whole project consists of three main technological systems, which are: sludge drying installation, thermal mineralization of sludge installation and exhaust gases purifying installation [24].

Sludge drying installation is composed of such elements as [24]:

- a suport structure
- conveyor belts
- a sludge passing device
- an air cell
- circulating air channels
- a 1120 kW boiler
- water to air heat exchangers
- a dry sludge transporter
- controlling and measuring units

Sludge is dried with the circulating air in the drying plant. After that, it moves from the upper to the lower conveyor belt. Then, in the form of granulated product, it is passed to the store within the boiler.

For the drying process to occur, it is needed for circulating air to be heated, which takes place thanks to the boiler and water to air heat exchangers. After the first batch of dried sludge is acquired, the thermal installation is set to work. Installation uses a three-

pass INTEGRA boiler of 1000 kW power. A 110–410 kW gas burner is used to make the boiler work and to manage the temperature at which the sludge is burnt. The combustion process starts as soon as the dehydrated sludge is passed to the humid sludge container. Sewage sludge which is run to the dryer is first dehydrated mechanically and contains 15-25% of dry matter. After the process of drying, the total amount of dry matter is between 75 and 95%.

Sludge dryers use the constructions which derive from the ones used in food industry for drying the vegetables, fruit, pasta, etc.

Table 2. Heating value of sludge from sewage treatment plant in Łomża [24]

Parameter	Value
Heating value of dry matter [kJ/kg]	14240
Operating heating value (81% hydration)	-155
Operating heating value (20% hydration)	10020

The products of the combustion stage are ash, slag and exhaust gases. The furnace gases, which are released at this stage, move to the exhaust gases purifying installation. This system clears them from the fly ash and gas pollutants for instance sulphur compounds and heavy metals as well.

It is worth mentioning that the process of combustion produces the energy in a form of heat for the drying process. The heated water is directed to the sludge dryer, which provides 90% of the heat needed. The remaining 10% is covered by a 70kW gas burner. Such a connection between these two processes lets sludge be processed in an eco-friendly way and also gives satisfaction when considering the economical issues [24].

2.3. The sewage sludge thermal utilization station in Warsaw

Warsaw sewage treatment plant "Czajka" will be one of the largest in Poland. On average, the daily inflow of sewage will be about 180 thousand of cubic meters. One of the main goals of the whole system is to treat 100% of municipal sewage before it is passed into the Wisła river. As part of the development project, the throughput of the station has been increased from 240 to 435 thousand of cubic meters daily. The result of this is the greater amount of sludge – it stands on the level of 190 thousand tons per year. In order to obtain such outcomes as reducing the sewage sludge volume and the tediousness to the people living nearby, the thermal sludge utilization station has been built [25].

Dehydrated sludge containing about 25 per cent of dry matter is to be stored in two reservoirs of 530 cubic meters and at the emergency stacking yard in case of the halt of the thermal sludge utilization station. The reservoirs act simultaneously as the buffers before sludge is passed to the utilization station. Dehydrated sludge from the buffer reservoirs is dried to about 33 percent of dry matter. From the diaphragm dryers, together with the fats, it is passed to the fluid combustors.

Dried sludge from Południe Sewage Treatment Plant is transported directly to the piston pump, when it is mixed with dried or dehydrated sludge and the fats. Then, the mixture is pumped into the fluid combustors [25].

The fats are delivered in the containers to the thermal sludge utilization station. After they are heated, they are pumped into the piston pumps and then, together with other sludge, they are passed to the fluid combustors.

The screenings and the sand are also brought in containers. After they are fragmented and cleared, they are moved to the combustors by two transporter lines.

In order to reduce humidity properly and avoid using additional fuel, the process of skin drying is carried out. The dryer makes the water in dehydrated sludge evaporate. As a result, fumes are generated. The heat from such fumes is used to heat the buildings. Each of the dryers is equipped with two heat exchangers working in series [25].

The process of waste combustion occurs in two fluidised combustors. Dried or dehydrated sludge is passed to the sand bed at the eight spots at each combustor. The screenings and sand mixture will be brought by the feeding screws.

The heat which can be recovered comes from the exhaust vapour condensation and from the condensation of vapour from the dryers. Some amount of the energy from these sources is used in the buildings heat systems during the winter. The diaphragm heat exchangers allow to achieve this. During the summer season, the water is cooled by the cooling system.

The process of the thermal waste treatment releases such kinds of waste as slag, ash from the multicyclone, and the remains from the bag filter. The latter of these is a kind of hazardous waste [25].

In order to separate hazardous and non-hazardous waste from each other, the consolidating installation is divided into two cycles [25]:

- a six-day cycle for burning non-hazardous waste,
- a one-day cycle for hazardous waste.

3. Conclusions

There are quite a few methods of thermal utilization of sewage sludge in the world, which can be different kinds of incineration, co-combustion and alternative processes. In Poland, the most popular of thermal utilization are incineration in a fluid bed furnace.

The thermal sludge utilization gains more and more popularity in Poland due to the decline of environmental and agricultural sludge usage, as well as its storage. The sludge incineration provides full utilization and removing the sludge from the environmental system. The products of this process are sanitary safe. It is probably the best way to reduce the sludge volume and weight. What is more, the incineration process allows to meet the regulations connected to the emissions level and allows to dispose of all kinds of waste from the sewage treatment stations. Its most significant advantages are also high combustion efficiency and high reliability.

On the other hand, building the sludge incineration stations is not an ideal solution. There are also some drawbacks of this technology. First, the exploitation costs are included in the water and sewage bills, obviously making them higher. There is also a problem of the post-process ashes, which constitute ca. 10–12% of the sewage sludge weight.

References

- [1] Ustawa o Odpadach, Dz.U. nr 62, poz. 628, with changes
- [2] UE Directive 99/31/WE from 26.04.1999.
- [3] Prawo Ochrony Środowiska, Dz. U. nr 62, poz. 627, with changes.
- [4] Bień J. B.: *Osady ściekowe. Teoria i praktyka*. Wyd. Politech. Częst., Częstochowa, 2002, s. 290.
- [5] www.stat.gov.pl Główny Urząd Statystyczny, Ochrona Środowiska, Informacje i opracowania statystyczne, Warszawa, 2001.
- [6] Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2014, Monitor Polski, Nr 101, poz. 1183, 24.12.2010.
- [7] Weiner R. F., Matthews R. A.: *Environmental Engineering*, Elsevier Science, Burlington, USA, 2003, p. 471.
- [8] Tchobanoglous G., Burton F. L., Stensel H. D.: *Wastewater engineering. Treatment and Reuse*, Fourth Edition, McGraw-Hill Companies, New York, 2003, p. 1771.
- [9] Werther J., Ogada T.: *Sewage sludge combustion*, Progress in Energy and Combustion Science, 25, 1999, pp. 55–116.
- [10] Siuta J.: *Uwarunkowania i sposoby przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych*, Inżynieria i Ochrona Środowiska, 2000, t. 3. nr 1–2, s. 105–118.
- [11] Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych, Dz. U. nr 137, poz. 924, 2010.

- [12] Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 19.10.2004 w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu, Dz. U. Nr 236, poz. 2369, 2004.
- [13] Krzywy E., Wołoszyk Cz., Izewska A.: *Wartość nawozowa komunalnych osadów ściekowych*, 2000, PTIE, Szczecin, s. 6–7.
- [14] Gąsiorek J. A.: *Ekologiczne bariery wykorzystania osadów ściekowych*, EkoTechnika, 2002, 1, 21, s. 20–23.
- [15] Krajowy Plan Gospodarki Odpadami, M.P.03.11.159 z dnia 28.02.2003, Warszawa.
- [16] Alvarez E. A., Mochón M.C., Jiménze Sánchez J. C., Rodríguez M. T.: *Heavy metal extractable forms in sludge from wastewater treatment plants*, Chemosphere, 2002, 47, pp. 765–775.
- [17] Sängner M., Werther J., Ogada T.: *NO_x and N₂O emission characteristics from fluidised bed combustion of semi-dried municipal sewage sludge*, Fuel, 2001, 80, pp. 167–177.
- [18] Rečko K.: *Wykorzystanie osadów ściekowych do termicznej utylizacji*, pod red. Wandrasza J.W., Piekonia K.: *Paliwa z odpadów*, t. IV, Gliwice, 2003, s. 419–422.
- [19] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 7 września 2005 roku w sprawie kryteriów i procedur dopuszczania odpadów na składowisku odpadów danego typu, Dz. U. Nr 186, poz. 1553, 2005 ze zmianami.
- [20] Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18.06.2008, w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu, Dz. U. nr 119, poz. 765, 2008.
- [21] UE Directive 1986/278/EEG z dnia 12 czerwca 1986 r., w sprawie ochrony środowiska, w szczególności gleby, w przypadku wykorzystania osadów ściekowych w rolnictwie.
- [22] Jędrzejewski C.: *Suszenie i spalanie odwodnionych osadów ściekowych na przykładzie instalacji w Grupowej Oczyszczalni Ścieków "Dębogórze" w Gdyni*, Ekologia i Technika, 2006, Vol. XIV, s.39–43.
- [23] Jędrzejewski C., *Doświadczenia eksploatacyjne ze spalarni osadów ściekowych w Gdyni*, Mat. V Konferencja Naukowo-Techniczna, Termiczna mineralizacja osadu ściekowego, 3–5.09.2008, Nowogród k. Łomży, Wyd. Seidel-Przywecki.
- [24] Lewańczuk G., *Instalacja suszenia i mineralizacji termicznej osadów ściekowych dla oczyszczalni ścieków w Łomży – przebieg procesu inwestycyjnego*, Mat. V Konferencja Naukowo-Techniczna, Termiczna mineralizacja osadu ściekowego, 3–5.09.2008, Nowogród k. Łomży, Wyd. Seidel-Przywecki.
- [25] Krawczyk M., Majszczuk I., Sudół J., *Przygotowanie osadów ściekowych oraz ich termiczne unieszkodliwianie – rozwiązania techniczno-technologiczne zastosowane w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”*, pod red. Heidricha Z., *Kierunki przeróbki i zagospodarowania osadów ściekowych*, 2010, s. 231–243.
- [26] Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste Water and Waste Gas Treatment, Management Systems in the Chemical Sector, European Commission, 2003.

Jolanta Latosińska
Alicja Turdakow

Termiczne unieszkodliwianie komunalnych osadów ściekowych – przykłady polskich rozwiązań

1. Wstęp

Ubocznym produktem oczyszczania ścieków komunalnych, przy dzisiejszym stanie wiedzy i techniki, niemożliwym od uniknięcia są osady ściekowe.

W 2010 roku w Polsce wytworzono 526,7 tys. Mg suchej masy osadów ściekowych [5]. Rzeczywista ilość osadów ściekowych wymagająca unieszkodliwienia jest większa o kolejne 332,4 tys. Mg s.m., które są nagromadzone na terenach oczyszczalni ścieków z lat minionych [5, 6]. Według prognoz, w roku 2014 ilość osadów ściekowych wzrośnie do 651 tys. Mg s.m., a w 2018 roku do 726 tys. Mg s.m. [6].

W oczyszczalni ścieków stosownie do miejsca pobrania osadów ściekowych i przyjętej technologii wyróżnia się: osad wstępny, osad wtórny, osad zmieszany oraz osad chemiczny [7]. Z uwagi na warunki stabilizacji osadów ściekowych wyróżnia się osady stabilizowane tlenowo (biostabilizacja), poddawane przeróbce beztlenowej (fermentacja metanowa) oraz stabilizowane chemiczne. Ciąg technologiczny przeróbki osadów ściekowych, w zależności od przyjętego rozwiązania, składający się z zagęszczania, stabilizacji, odwadniania, higienizacji, ma na celu przygotowanie osadów ściekowych do ostatecznego unieszkodliwienia [8].

Osady ściekowe, ze względu na swą charakterystykę fizyczno-chemiczną i mikrobiologiczną mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia ludzi oraz środowiska [9].

Zgodnie z obowiązującymi przepisami postępowanie z komunalnymi osadami ściekowymi powinno być realizowane według wymagań określających zasady gospodarki odpadami [1–3]. Z dniem 01.01.2013 roku składowanie osadów ściekowych, nie poddanych odpowiedniemu przetworzeniu, jest objęte zakazem [2, 19]. W świetle przepisów rozporządzenia [19] deponowanie na składowiskach jest dozwolone tylko tych osadów ściekowych, których wartość ciepła spalania wynosi poniżej 6,0 MJ/kg s.m., jeśli zawierają mniej niż 5% całkowitego węgla organicznego, a strata prażenia nie przekracza 8% s.m. Komunalne osady ściekowe charakteryzują się zawartością ogólnego węgla organicznego powyżej 5%.

Przyrodnicze stosowanie osadów ściekowych pozwala na wykorzystanie ich glebotwórczych i nawozowych właściwości [10], jest regulowane zapisami ustawy o odpadach [1], rozporządzeń [11, 20] oraz dyrektywy [21]. Wykorzystanie osadów na terenach rolniczych ograniczają wysokie stężenia: metali ciężkich, WWA, TCDD, PCB oraz zanieczyszczenia organizmami patogennymi [16]. Przyrodnicze wykorzystanie osadów ściekowych spotyka się z brakiem akceptacji społecznej, a ponadto cechuje się sezonowością. Brak jest również odpowiednich terenów do tego celu. Według danych Krajowego Planu Gospodarki Odpadami osady zaledwie z 7,5% ogólnej liczby oczyszczalni kwalifikują się w całości do wykorzystania w rolnictwie [15].

Alternatywą wykorzystania rolniczego osadów może być utylizacja termiczna. Termiczne unieszkodliwianie osadów ściekowych jest powszechnie stosowane w krajach o wysokim wskaźniku zaludnienia (szczególnie na terenie aglomeracji miejsko-przemysłowych), tj. Japonia, Niemcy [17].

2. Polskie przykłady instalacji obróbki termicznej osadów ściekowych

Według wytycznych Dokumentu Referencyjnego Komisji Europejskiej (BREF) określającego Najlepsze Dostępne Techniki (BAT) dla spalania odpadów, w instalacjach służących głównie do spalania osadów ściekowych, za BAT uważa się technologię ze złożem fluidalnym, ze względu na wysoką efektywność spalania i niską objętość spalin powstających w takich systemach [26].

2.1. Stacja termicznej utylizacji osadów ściekowych w Gdańsku – Dębogórze

Pierwsza polska Stacja Termicznej Utylizacji Osadów Ściekowych powstała w 1994 roku w Gdańsku-Dębogórze.

Wydajność spalarni wynosi 65–80 Mg/d osadów ściekowych o wilgotności 70% o zawartości 50% substancji organicznych suchej masy [22].

Grupowa Oczyszczalnia Ścieków oczyszcza ścieki w ilości około 60000 m³/d. Technologia przeróbki

osadów ściekowych polega na zagęszczaniu (grawitacyjnym i mechanicznym), stabilizacji tlenowo-temperaturowej osadu nadmiernego, fermentacji metanowej, odwadnianiu w prasach komorowych. Odwodnione osady ściekowe spalane są w spalarni o wydajności 65–80 Mg/d, przy wilgotności osadów odwodnionych ok. 71–75%. Osady ściekowe przed spalaniem podlegają suszeniu w bębnowej suszarce obrotowej do 75–50% s.m. Spalanie wysuszonych osadów realizowane jest w piecu ze złożem fluidalnym. Powstały popiół ze spalania osadów ściekowych jest deponowany na składowisku zlokalizowanym na terenie oczyszczalni ścieków [22].

2.2. Stacja termicznej utylizacji osadów ściekowych w Łomży

W oczyszczalni ścieków komunalnych w Łomży powstaje około 7000 Mg/a osadów ściekowych. W przeszłości były one wykorzystywane do celów rolniczych i rekultywacji wyrobisk. Jednak ze względu na powstawanie coraz większej liczby rolniczych gospodarstw ekologicznych rolnictwo nie jest zainteresowane takim nawozem. W takiej sytuacji zastosowano spalanie osadów ściekowych [24]. Wydajność instalacji wynosi 7000 Mg/a spalanych osadów ściekowych. Instalacja składa się z trzech głównych systemów: instalacji suszenia osadów ściekowych, instalacji termicznej mineralizacji osadów ściekowych, instalacji oczyszczania spalin. Osady kierowane do suszenia są wcześniej odwodnione mechanicznie do zawartości 15–25% s.m. Po suszeniu zawartość suchej masy w osadach ściekowych wynosi 75–95%. Osady spalane są w piecu rusztowym. Otrzymany żużel ze spalania osadów ściekowych składowany jest na składowisku [24].

2.3. Stacja termicznej utylizacji osadów ściekowych w Warszawie

Oczyszczalnia ścieków „Czajka” będzie jedną z największych w Polsce. Średnio dobowy dopływ ścieków do oczyszczalni kształtować się będzie na poziomie około 180000 m³. W wyniku modernizacji i rozbudowy oczyszczalni ścieków według [25] powstawać będzie około 190000 Mg osadów na rocznie. W celu redukcji masy osady ściekowe poddawane zostaną obróbce termicznej [25].

Linia technologiczna do obróbki termicznej osadów ściekowych obejmuje m.in. [25]:

- przygotowanie osadów do spalania przez suszenie,
- spalanie osadów ściekowych w dwóch piecach ze złożem fluidalnym,
- system odzysku ciepła z suszarek,
- system chłodzenia,
- system oczyszczania spalin.

W procesie termicznego unieszkodliwiania osadów ściekowych powstają odpady tj.: żużel, popioły z multicyklonów, pozostałości z filtrów workowych. Dwa ostatnie zaliczane są do odpadów niebezpiecznych. Odpady, zarówno niebezpieczne jak i inne niż niebezpieczne będą zestalane [25].

3. Wnioski

Termiczna obróbka komunalnych osadów ściekowych staje się coraz bardziej popularna w Polsce m.in. z powodu obowiązujących przepisów. Spalanie osadów ściekowych powoduje zmniejszenie masy i objętości odpadów. Produkty procesu spalania są bezpieczne pod względem sanitarnym.

Z drugiej strony bazując na spalaniu komunalnych osadów ściekowych istnieje problem unieszkodliwiania popiołów i żużli, które stanowią około 10–20% masy osadów ściekowych.

PAWEŁ KOSSAKOWSKI

Kielce University of Technology
Faculty of Civil and Environmental Engineering
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
25-314 Kielce, Poland
e-mail: kossak@tu.kielce.pl

PROTECTION AGAINST NOISE IN THE EUROPEAN UNION – GENERAL REQUIREMENTS, APPLIED NOISE INDICATORS AND ASSESSMENT METHODS

Abstract

The paper presents the issue of noise protection in view of the regulations in the European Union. Definitions and sources of noise as well as applied noise indicators are presented. Much attention is paid to EU Environmental Noise Directive 2002/49/EC dealing with noise pollution.

Keywords: noise, UE requirements

1. Introduction

Noise is one of the factors which have the significant impact on the environment pollution. The increase of noise which has been observed in the last few years is an increasingly troublesome problem for many urban areas and agglomeration both in the world and Poland. For this reason, the issue of noise and its reduction methods are the subject of intensive research and scientific publications. The problem of noise environmental pollution and requirements for noise protection was recognized in European law. General requirements, applied noise indicators and methods of assessment related to the protection against the noise are presented in the paper.

2. Noise – definitions and sources

Noise in physical terms is defined as unwanted, unwanted, annoying, irritating or unpleasant sounds – auditory impression due to the acoustic wave that propagates in the elastic medium.

From a medical point of view, the noise will be referred to all the sounds that negatively affect both the human auditory organ and the whole body and mental state.

The noise is identified mainly with the volume of sound heard, which is related to the sound intensity or pressure, expressed in decibels (dB). Even for the sound intensities of 70 dB the negative reactions of

the human body to noise are observed. Above this threshold a variety of diseases, and even permanent damage to hearing may occur. Sound intensity of 130 dB is the limit of human pain.

It should be noted that noise can also be caused by sounds unduly affecting the background sound, so long-term annoying, which in a short time can have a negative impact on the mental state of a man.

The main sources of noise associated with human activities are:

- road traffic,
- rail traffic,
- air transport,
- industrial production.

3. Environmental Noise Directive 2002/49/EC

Protection against noise is one of the most important elements of the policy in the European Community aimed at achieving a high level of health and environmental protection. As a result of the work, the so-called Environmental Noise Directive 2002/49/EC [1] was adopted in 2002, in order to harmonize the rules and regulations to prevent and reduce the adverse effects of noise pollution. The most important regulations of the Directive [1] are presented below.

According to the intention of the legislators, Directive 2002/49/EC should provide a basis for developing and completing the existing set of

Community measures concerning noise and for developing additional measures. In particular this concerns road and rail vehicles and infrastructure, aircraft, outdoor and industrial equipment and mobile machinery. This Directive shall apply to environmental noise to which humans are exposed. It concerns the built-up areas, public parks or other quiet areas in an agglomeration, quiet areas in open country, near schools, hospitals and other noise-sensitive buildings and areas. The application of the Directive excludes categories of noise such as noise inside means of transport, noise that is caused by the exposed person himself, noise from domestic activities, noise created by neighbours, noise at work places or due to military activities in military areas [1].

The basic objective of Directive is to define a common approach intended to avoid, prevent or reduce the harmful effects, including annoyance, due to exposure to environmental noise, basing on priorities set by the implementation of the following activities [1]:

- a) the determination of exposure to environmental noise, through noise mapping, by methods of assessment common to the Member States,
- b) ensuring that information on environmental noise and its effects is made available to the public,
- c) adoption of action plans by the Member States, based upon noise-mapping results, with a view to preventing and reducing environmental noise where necessary and particularly where exposure levels can induce harmful effects on human health and to preserving environmental noise quality where it is good.

Directive shall also aim at providing a basis for developing Community measures to reduce noise emitted by the major sources, in particular road and rail vehicles and infrastructure, aircraft, outdoor and industrial equipment and mobile machinery [1].

One of the primary purpose of the Directive is to establish comparable criteria for the collection of information about the level of noise in the environment, collate the data and reporting. In this regard, two basic elements are:

- the adoption of harmonized noise indicators, defined by values L_{den} to assess overall annoyance and L_{night} to assess sleep disturbance,
- the obligation to draw up strategic noise maps which enable a global assessment to be made of noise exposure in an area due to different noise sources and overall predictions to be made for such an area.

Closer details of the requirements for the use of the accepted noise indicators and assessment methods are presented below, according to [1].

4. Noise indicators applied in the European Union

For preparing and analyzing strategic noise maps it is required to apply the noise indicators L_{den} and L_{night} , defined in [1]. Existing national noise indicators and related data may be used for this purpose and should be converted into the indicators mentioned above until the introduction of the obligation the use of common assessment methods for the determination of L_{den} and L_{night} . At the same time the use of data older than three years is not allowed. Other noise indicators than L_{den} and L_{night} are also allowed for special cases and acoustical planning and noise zoning.

Noise indicators, which are the physical scale for the description of environmental noise, are presented below, basing on Directive [1].

4.1. Noise indicator L_{den} for day-evening-night time

Noise indicator L_{den} for the time of day-evening-night noise means a physical scale for the description of environmental noise, which has a relationship with a harmful effect. It is expressed in decibels (dB) as follows [1]:

$$\frac{L_{den}}{24} = 10 \lg 1 \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right)$$

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right)$$

where:

- L_{day} – the A-weighted long-term average sound level as defined in ISO 1996-2:1987 [3], determined over all the day periods of a year,
- $L_{evening}$ – the A-weighted long-term average sound level as defined in ISO 1996-2:1987 [3], determined over all the evening periods of a year,
- L_{night} – the A-weighted long-term average sound level as defined in ISO 1996-2:1987 [3], determined over all the night periods of a year.

It is assumed that the day-time is 12 hours, the evening-time is 4 hours and night-time is 8 hours, allowing the reduction of the evening one or two hours, and the extension in relation to the time of day and/or night, the same for all sources. The default day-time, evening-time and night-time hours are: from 7.00 to 19.00, from 19.00 to 23.00 and from 23.00 to 7.00 local time, respectively. The calculations should assume that a year is a relevant year as regards the

emission of sound and an average year as regards the meteorological conditions.

In order to determine the values of L_{den} take into account the wave of the incident, that does not include the sound reflected from the façade of the dwelling (generally accepted correction of 3 dB).

The height of the L_{den} assessment point depends on the application [1]:

- in the case of computation for the purpose of strategic noise mapping in relation to noise exposure in and near buildings, the assessment points must be 4.0 ± 0.2 m (3.8 to 4.2 m) above the ground and at the most exposed façade; for this purpose, the most exposed façade will be the external wall facing onto and nearest to the specific noise source; for other purposes other choices may be made,
- in the case of measurement for the purpose of strategic noise mapping in relation to noise exposure in and near buildings, other heights may be chosen, but they must never be less than 1.5 m above the ground, and results should be corrected in accordance with an equivalent height of 4 m,
- for other purposes such as acoustical planning and noise zoning other heights may be chosen, but they must never be less than 1.5 m above the ground, for example for rural areas with one-storey houses, the design of local measures meant to reduce the noise impact on specific dwellings and the detailed noise mapping of a limited area, showing the noise exposure of individual dwellings.

4.2. The night-time noise indicator L_{night}

The night-time noise indicator L_{night} is the A-weighted long-term average sound level as defined in ISO 1996-2:1987 [3], determined over all the night periods of a year. The night, year, incident sound and the height of the assessment point is determined in the same way as for L_{den} indicator.

4.3. Supplementary noise indicators

In some cases, in addition to L_{den} and L_{night} , and where appropriate L_{day} and $L_{evening}$, it may be advantageous to use special noise indicators and related limit values. Some examples are given below [1]:

- the noise source under consideration operates only for a small proportion of the time (for example, less than 20% of the time over the total of the day periods in a year, the total of

the evening periods in a year, or the total of the night periods in a year),

- the average number of noise events in one or more of the periods is very low (for example, less than one noise event an hour; a noise event could be defined as a noise that lasts less than five minutes; examples are the noise from a passing train or a passing aircraft),
- the low-frequency content of the noise is strong,
- L_{Amax} , or SEL (sound exposure level) for night period protection in the case of noise peaks,
- extra protection at the weekend or a specific part of the year,
- extra protection of the day period,
- extra protection of the evening period,
- a combination of noises from different sources,
- quiet areas in open country,
- the noise contains strong tonal components,
- the noise has an impulsive character.

5. Assessment methods for the noise indicators

Directive [1] assumes that the values of L_{den} and L_{night} can be determined either by computation or by measurement (at the assessment position) and for predictions only computation is applicable. Provisional computation and measurement methods for L_{den} and L_{night} determination are presented below according to [1].

5.1. Provisional computation methods for L_{den} and L_{night}

If a Member State has national methods for the determination of long-term indicators those methods may be applied, provided that they are adapted to the definitions of the indicators defined in [1]. For most national methods this implies the introduction of the evening as a separate period and the introduction of the average over a year. Some existing methods will also have to be adapted as regards the exclusion of the façade reflection, the incorporation of the night and/or the assessment position. The establishment of the average over a year requires special attention. Variations in emission and transmission can contribute to fluctuations over a year [1].

Recommended provisional computation methods for L_{den} and L_{night} are presented in Table 1 [1].

5.2. Provisional measurement methods for L_{den} and L_{night}

If a Member State wishes to use its own official measurement method, that method shall be adapted in accordance with the definitions of the indicators set out in [1] and in accordance with the principles

Table 1. Provisional computation methods for L_{den} and L_{night} [1]

Noise source	Provisional computation method for L_{den} and L_{night}
Industrial production	ISO 9613-2: "Acoustics – Abatement of sound propagation outdoors, Part 2: General method of calculation" Suitable noise-emission data (input data) for this method can be obtained from measurements carried out in accordance with one of the following methods: a) ISO 8297:1994 "Acoustics – Determination of sound power levels of multisource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment - Engineering method", b) EN ISO 3744:1995 "Acoustics – Determination of sound power levels of noise using sound pressure – Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane", c) EN ISO 3746:1995 "Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using an enveloping measurement surface over a reflecting plane".
Air transport	ECAC.CEAC Doc. 29 "Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports", 1997. Of the different approaches to the modelling of flight paths, the segmentation technique referred to in section 7.5 of ECAC.CEAC Doc. 29 will be used
Road traffic	The French national computation method „NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)”, referred to in: 1) "Arreté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routieres, Journal Officiel du 10 mai 1995, Article 6" 2) The French standard "XPS 31-133". For input data concerning emission, these documents refer to the "Guide du bruit des transports terrestres, fascicule prévision des niveaux sonores, CETUR 1980".
Rail traffic	The Netherlands national computation method published in "Reken- en Meetvoorschrift Railverkeerslawai '96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 November 1996".

governing long-term average measurements stated in ISO 1996-1:1982 [2] and ISO 1996-2:1987 [3]. If a Member State has no measurement method or if it prefers to apply another method, a method may be defined on the basis of the definition of the indicator and the principles stated in ISO 1996-1:1982 [2] and ISO 1996-2:1987 [3]. Measurement data in front of a façade or another reflecting element must be corrected to exclude the reflected contribution of this façade or element (as a general rule, this implies a 3 dB correction in case of measurement) [1].

6. Summary

Regulations presented in this article are the interpretation of the law of the European Union on environmental pollution and noise requirements for protection against noise. The Noise Directive 2002/49/EC is a fundamental legal act, which must be respected by all EU Members and adapt to the national law on the protection against noise. Thus, the general requirements, applicable noise indicators and assessment methods in the field of noise protection presented in the article have been introduced for use also in Poland.

References

- [1] Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise (Official Journal of the EC L 189/12, 18.07.2002).
Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 r. odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku (Dziennik Urzędowy WE L 189/12 z 18.07.2002).
- [2] ISO 1996-1:1982 Acoustics – Description and measurement of environmental noise – Part 1: Basic quantities and procedures.
- [3] ISO 1996-2:1987 Acoustics – Description and measurement of environmental noise – Part 2: Acquisition of data pertinent to land use.

Paweł Kossakowski

Ochrona przed hałasem w Unii Europejskiej – wymagania ogólne, stosowane wskaźniki hałasu oraz metody ich oceny

1. Wprowadzenie

Hałas jest jednym z czynników, które w istotnym stopniu zanieczyszczają środowisko naturalne. Obserwowany w ostatnich kilkunastu latach wzrost poziomu hałasu stanowi coraz bardziej uciążliwy problem dla wielu rejonów i aglomeracji zarówno świata jak i Polski. Z tego względu tematyka dotycząca hałasu oraz metod jego ograniczania stanowią przedmiot intensywnych badań oraz publikacji naukowych. Problematyka zanieczyszczenia środowiska naturalnego hałasem oraz wymogi w zakresie ochrony przed hałasem ujęta została w prawodawstwie europejskim, którego regulacje dotyczące ogólnych wymagań, stosowanych wskaźników hałasu oraz metod ich oceny przedstawiono w niniejszym artykule.

2. Hałas – definicje i źródła

Hałas w ujęciu fizycznym definiowany jest jako niepożądane, uciążliwe, dokuczliwe lub nieprzyjemne dźwięki – wrażenia słuchowe spowodowane falą akustyczną, która rozchodzi się w ośrodku sprężystym. Z medycznego punktu widzenia, hałasem określane będą wszystkie dźwięki, które negatywnie wpływają zarówno na organ słuchu człowieka, jak i jego cały organizm oraz stan psychiczny.

Hałas jest utożsamiany głównie z głośnością słyszanego dźwięku, która jest związana z jego natężeniem lub ciśnieniem akustycznym, wyrażonymi w decybelach (dB). Już przy natężeniach dźwięku na poziomie 70 dB obserwowane są negatywne reakcje organizmu ludzkiego na hałas. Powyżej tego progu może dochodzić do rozmaitych chorób, a nawet trwałego uszkodzenia narządu słuchu. Dźwięk o natężeniu 130 dB to granica bólu dla człowieka.

Należy zaznaczyć, że przyczynami hałasu mogą być również dźwięki w niepożądany sposób wpływające na tło akustyczne, a więc długotrwale uciążliwe, które w krótkim czasie mogą negatywnie wpłynąć na stan psychiczny człowieka.

Główne źródła hałasu związanego z działalnością człowieka to:

- ruch drogowy,
- ruch kolejowy,
- transport lotniczy,
- produkcja przemysłowa.

3. Dyrektywa Hałasowa 2002/49/WE

Ochrona przed hałasem stanowi jeden z najważniejszych elementów prowadzonej w Unii Europejskiej polityki mającej na celu osiągnięcie wysokiego poziomu zdrowia i ochrony środowiska. Efektem prowadzonych prac było uchwalenie w 2002 roku dyrektywy tzw. „hałasowej” 2002/49/WE [1], celem regulacji i zharmonizowania zasad zapobiegania oraz redukcji szkodliwych skutków zanieczyszczenia środowiska hałasem. Najważniejsze regulacje dyrektywy [1] podano poniżej.

W intencji ustawodawców Dyrektywa 2002/49/WE ma być podstawą rozwijania i uzupełniania istniejącego zespołu środków wspólnotowych dotyczących emisji hałasu, jak również opracowywania dodatkowych środków. Dotyczy to w szczególności takich źródeł hałasu jak pojazdy kołowe i szynowe wraz z ich infrastrukturą, samoloty, urządzenia pracujące na otwartej przestrzeni i urządzenia przemysłowe oraz maszyny samojezdne. Dyrektywa ma zastosowanie do hałasu w środowisku na jaki ludzie są narażeni. Dotyczy to w szczególności obszarów zabudowanych, parków publicznych lub innych obszarów względnie cichych w aglomeracji, na obszarach ciszy na otwartym terenie poza miastem, w pobliżu szkół, szpitali i innych wrażliwych na hałas budynków i obszarów. Z zakresu stosowania dyrektywy wyłączono kategorie hałasu, takie jak hałas powstający wewnątrz środka transportu, hałas powodowany przez osobę narażoną, hałas którego źródłem są czynności domowe, hałas powodowany przez sąsiadów, hałas w miejscu pracy oraz hałas związany z działaniami wojskowymi na terenach wojskowych [1].

Podstawowym celem dyrektywy jest zdefiniowanie wspólnego podejścia do unikania, zapobiegania lub zmniejszania szkodliwych skutków narażenia na działanie hałasu, w tym jego dokuczliwości, na podstawie ustalonych priorytetów przez wdrażanie następujących działań [1]:

- ustalenie stopnia narażenia na hałas w środowisku poprzez sporządzanie map hałasu przy zastosowaniu wspólnych dla państw członkowskich metod oceny,
- zapewnienie społeczeństwu dostępu do informacji dotyczącej hałasu w środowisku i jego skutków,
- przyjęcie przez państwa członkowskie, na podstawie danych uzyskanych z map hałasu, planów działań zmierzających do zapobiegania powstawaniu hałasu w środowisku i obniżania jego poziomu tam, gdzie jest to konieczne, zwłaszcza tam, gdzie oddziaływanie hałasu może powodować szkodliwe skutki dla ludzkiego zdrowia, oraz zachowanie jakości klimatu akustycznego środowiska tam, gdzie jest ona jeszcze właściwa.

Celem niniejszej dyrektywy jest ponadto stworzenie podstawy dla rozwijania środków wspólnotowych w zakresie obniżania hałasu z głównych źródeł, w szczególności z taboru drogowego i szynowego oraz ich infrastruktury, samolotów, urządzeń pracujących na otwartej przestrzeni i urządzeń przemysłowych oraz maszyn i urządzeń samobieżnych [1].

Jednym z podstawowych celów wprowadzenia dyrektywy hałasowej jest ustalenie porównywalnych kryteriów w zakresie gromadzenia informacji odnośnie do poziomu hałasu w środowisku, zestawianie tych danych, a także sprawozdawczość. W tym zakresie dwa elementy są podstawowe:

- przyjęcie zharmonizowanych wskaźników hałasu, definiowanych wielkościami L_{den} dla oceny ogólnej dokuczliwości i L_{night} dla oceny zakłócenia snu,
- obowiązek sporządzania strategicznych map hałasu, umożliwiających dokonanie całościowej oceny narażenia na hałas z różnych źródeł na danym obszarze oraz opracowanie ogólnej prognozy dla danego obszaru.

Poniżej przybliżono szczegółowe wymagania w zakresie stosowania przyjętych wskaźników hałasu oraz metod ich oceny wg [1].

4. Wskaźniki hałasu stosowane w Unii Europejskiej

Przy sporządzaniu i analizowaniu strategicznych map hałasu wymagane jest stosowanie wskaźników

hałasu L_{den} i L_{night} określonych w [1]. Dopuszczono stosowanie istniejących krajowych wskaźników hałasu i związanych danych, które należy przeliczyć na wskaźniki, o których mowa powyżej, do czasu wprowadzenia obowiązku stosowania wspólnych metod oceny w procesie ustalania L_{den} i L_{night} . Jednocześnie korzystanie z danych starszych niż trzyletnie jest zabronione. Dopuszczono również stosowanie dodatkowych wskaźników hałasu w odniesieniu do przypadków szczególnych, oraz stosowanie wskaźników innych niż L_{den} i L_{night} do celów planowania akustycznego i podziału na strefy hałasu.

Poniżej przedstawiono wskaźniki hałasu, które stanowią fizyczną skalę, stosowaną do określenia hałasu w środowisku, w oparciu o definicje zawarte w dyrektywie [1].

4.1. Wskaźnik hałasu L_{den} dla pory dziennej, wieczornej i nocnej

Wskaźnik hałasu L_{den} dla pory dziennej, wieczornej i nocnej oznacza miarę służącą do określenia ogólnej dokuczliwości. Wyrażany jest on w decybelach (dB) według wzoru (1).

Przyjęto, że pora dzienna trwa 12 godzin, wieczorna 4 godziny, a nocna 8 godzin, dopuszczając skrócenie pory wieczornej o jedną lub dwie godziny i przedłużenie w związku z tym pory dziennej i/lub nocnej, jednakowo do wszystkich źródeł. Domyślne godziny pory dziennej, wieczornej i nocnej to odpowiednio: od 7.00 do 19.00, od 19.00 do 23.00 i od 23.00 do 7.00 czasu miejscowego. W obliczeniach należy przyjąć, że rok oznacza dany rok w odniesieniu do emisji dźwięku i średni rok w odniesieniu do warunków meteorologicznych.

W celu wyznaczenia wartości wskaźnika L_{den} uwzględnia się falę padającą, tzn. nie uwzględnia się dźwięku odbitego od elewacji danego budynku mieszkalnego (na ogół przyjmuje się korekcję o 3 dB).

Wysokość punktu pomiaru L_{den} zależy od przeznaczenia wyników pomiaru [1]:

- w przypadku gdy dokonuje się obliczeń dla potrzeb sporządzania strategicznych map hałasu w związku z narażeniem na hałas w budynkach i w ich pobliżu, punkty oceny muszą znajdować się $4,0 \pm 0,2$ m (od 3,8 do 4,2 m) nad ziemią i na najbardziej narażonej elewacji; przez najbardziej narażoną elewację rozumie się ścianę zewnętrzną zwróconą frontem do konkretnego źródła hałasu i usytuowaną najbliżej niego; do innych celów można dokonywać innych wyborów,

- w przypadku gdy dokonuje się pomiarów dla potrzeb sporządzania strategicznych map hałasu w związku z narażeniem na hałas w budynkach i w ich pobliżu, dopuszcza się wybór innych wysokości, z zastrzeżeniem, że w żadnym razie nie mogą być mniejsze niż 1,5 m nad ziemią i z zastrzeżeniem korekty wyników zgodnie z równorzędną wysokością 4 m,
- do innych celów, takich jak planowanie akustyczne i podział na strefy hałasu, dopuszcza się wybór innych wysokości, z zastrzeżeniem że w żadnym razie nie mogą być mniejsze niż 1,5 m nad ziemią, na przykład dla obszarów wiejskich o jednopiętrowej zabudowie mieszkalnej, projektowania lokalnych środków zmniejszania wpływu hałasu na konkretne lokale mieszkalne oraz sporządzania szczegółowych map hałasu dla ograniczonego obszaru, ze wskazaniem narażenia poszczególnych lokali mieszkalnych na hałas.

4.2. Wskaźnik hałasu L_{night} dla pory nocnej

Wskaźnik hałasu dla pory nocnej L_{night} jest długookresową, ważoną dźwiękiem A średnią poziomą dźwięku zgodną z definicją zawartą w ISO 1996-2:1987 [3], ustaloną dla wszystkich pór nocnych w roku. Okres pory nocnej, rok, dźwięk opadający oraz punkt pomiaru określa się analogicznie jak w dla wskaźnika L_{den} .

4.3. Uzupełniające wskaźniki hałasu

W niektórych przypadkach może być korzystne stosowanie dodatkowo do L_{den} i L_{night} , i odpowiednio, L_{day} i $L_{evening}$, specjalnych wskaźników hałasu i związanych wartości granicznych. Przykłady takich sytuacji podano poniżej [1]:

- rozpatrywane źródło hałasu działa jedynie przez niewielką część czasu (na przykład, przez mniej niż 20% sumy okresów dziennych w roku, sumy okresów wieczornych w roku lub sumy okresów nocnych w roku),
- średnia liczba zdarzeń akustycznych w jednej porze lub kilku porach jest bardzo niska (na przykład mniej niż jedno zdarzenie akustyczne na godzinę; zdarzenie akustyczne określane jest jako sygnał akustyczny trwający krócej niż pięć minut; przykładem jest hałas przejeżdżającego pociągu albo przelatującego samolotu),
- wysoki udział dźwięków niskiej częstotliwości w hałasie,
- L_{Amax} lub SEL (poziom ekspozycji na hałas) dla ochrony okresów nocnych w przypadku szczytów hałasu,

- dodatkowa ochrona weekendów lub konkretnej części roku,
- dodatkowa ochrona pory dziennej,
- dodatkowa ochrona pory wieczornej,
- połączenie hałasu z różnych źródeł,
- obszary ciszy na otwartych terenach poza miastem,
- w skład hałasu wchodzi silne składniki tonowe,
- hałas o charakterze impulsowym.

5. Metody oceny wskaźników hałasu

Wartości L_{den} i L_{night} można ustalać albo w drodze wyliczenia, albo pomiaru (na stanowisku oceny). Do prognoz stosuje się wyłącznie wyliczenia. Przejściowe metody obliczania i pomiaru L_{den} i L_{night} przedstawiono poniżej w oparciu o [1].

5.1. Przejściowe metody obliczania L_{den} i L_{night}

Jeśli państwo członkowskie posiada krajowe metody ustalania wartości długookresowych wskaźników, dopuszcza się stosowanie tych metod pod warunkiem ich dostosowania do definicji wskaźników określonych w [1]. W odniesieniu do większości krajowych metod implikuje to wprowadzenie wieczoru jako odrębnej pory i wprowadzenie średniej dla roku. Niektóre dotychczasowe metody będą także wymagać adaptacji w zakresie wyłączenia odbicia od elewacji, włączenia nocy i/lub stanowiska oceny.

Szczególną uwagę należy zwrócić na ustalenie średniej rocznej. Zmiany emisji i przekazu mogą przyczynić się do wystąpienia fluktuacji w okresie roku.

Polecane przejściowe metody obliczeń L_{den} i L_{night} podano w tabeli 1 [1].

5.2. Przejściowe metody pomiaru L_{den} i L_{night}

Państwo członkowskie, które zamierza stosować własną urzędową metodę pomiaru, zobowiązane jest dostosować tę metodę zgodnie z definicjami wskaźników, określonymi w [1] i zgodnie z zasadami regulującymi pomiary długookresowych średnich, określonymi w ISO 1996-1:1982 [2] i ISO 1996-2:1987 [3]. Państwo członkowskie, które nie ma metody pomiaru lub woli zastosować inną metodę, może ją określić na podstawie definicji wskaźnika i zasad, określonych w ISO 1996-1:1982 [2] i ISO 1996-2:1987 [3]. Dane uzyskane z pomiaru przed elewacją lub przed innym odbijającym elementem należy skorygować w celu wyłączenia odbitego udziału danej elewacji lub elementu (z reguły implikuje to korektę pomiaru o 3 dB) [1].

6. Podsumowanie

Przedstawione w artykule regulacje stanowią wykładnię prawa obowiązującego w Unii Europejskiej dotyczącego zanieczyszczenia środowiska naturalnego hałasem oraz wymogów w zakresie ochrony przed hałasem. Dyrektywa hałasowa 2002/49/WE stanowi podstawowy akt prawny, którego muszą przestrzegać wszystkie kraje członkowskie UE i dostosowywać do niego krajowe prawo w zakresie ochrony przed hałasem. Tym samym przedstawione w artykule ogólne wymagania, stosowane wskaźniki hałasu oraz metody ich oceny w zakresie ochrony przed hałasem wprowadzone zostały do stosowania również w Polsce.

HOW TO PREPARE THE MANUSCRIPT (Font size 14 pt Times New Roman)

Abstract

The abstract should not exceed 10 lines. It should provide information about the objectives of the work, methods used and test results obtained in the course of the experiments/analyses.

(Font size 10 pt Times New Roman Italic)

Keywords: phrases, words (Font size 10 pt Times New Roman)

1. Introduction

The introduction should present the background of the work (font size 11 pt Times New Roman).

2. Main text

2.1. General information

The paper volume should not exceed 8 pages of A4 size with font size of 11 pt (Times New Roman). The number in square brackets [1] should be used for quotations. The paper should be sent by email to sae@tu.kielce.pl. The papers in the journal are reviewed.

2.2. Figures

Figures (in black and white or colour) should be of good quality and numbered with the sequence of their appearance in the text. They should be centered and have a caption of 10 pt size. High resolution files *.JPG, *.WMF, *.CDR, *.TIFF, *.EPS, *.BMP files should be used and inserted into the text as well as sent as separate files. 10 pt spacing should be left between the figure and the text.

2.3. Tables

Tables should be centered. Titles should be placed above the tables and written with font size of 10 pt (Times New Roman). The same applies to the text in the table (see example below).

Table 1. Title of the table.

No	table	table	table
1	table	table	table
2	table	table	table
3	table	table	table

2.4. Equations

Equations and formulas should be centered and numbered in brackets. 11 pt spacing should be left between the equation and the text above and below it.

3. Conclusions

References (arranged in the citing order):

- [1] Nowak M.: *Modelowanie konstrukcyjne (Structural modelling)*. Postępy Technologiczne 10 (2000), pp. 30-34.
[2] Zarylski R.: *Pomiary dynamiczne (Dynamic measurements)*. WNT, Warszawa 1971.
(Font size 10 pt Times New Roman)

Maria Nowak

Tytuł w języku polskim

1. Wprowadzenie

2. Tekst artykułu

Tekst w języku polskim ma odpowiadać swoim układem wersji angielskiej, może być skrócony. Nie powinien zawierać tabel, rysunków, wzorów, a jedynie odniesienie do tych, które znajdują się w wersji angielskiej. Objętość artykułu nie powinna przekraczać 8 stron czcionką 11 (Times New Roman). Bibliografię należy umieszczać w nawiasie kwadratowym [1] i numerować w kolejności alfabetycznej. Artykuły należy przesłać na adres sae@tu.kielce.pl. Artykuły są recenzowane.

3. Wnioski

THE REVIEW PROCESS

The following requirements need to be met by the paper:

- the title should reflect the content of the paper
- the content should be within the thematic scope of the journal
- the paper should be properly and clearly divided into paragraphs
- original elements need to be part of the paper
- the research method should be properly selected
- adequate references need to be cited
- interpretation and conclusions should match the presented test results
- the paper should not contain parts indicating commercial use

