

**NAUKI PODSTAWOWE**

W Y D A W N I C T W O



**CZASOPISMO  
TECHNICZNE**

**TECHNICAL  
TRANSACTIONS**

1-NP/2012

ZESZYT 18  
ROK 109

ISSUE 19  
YEAR 109

P O L I T E C H N I K I   K R A K O W S K I E J

**FUNDAMENTAL SCIENCES**

# NAUKI PODSTAWOWE

W Y D A W N I C T W O  
P O L I T E C H N I K I K R A K O W S K I E J

Przewodniczący Kolegium Redakcyjnego  
Wydawnictwa Politechniki Krakowskiej

Jan Kazior

Chairman of the Cracow University of Technology  
Press Editorial Board

Przewodniczący Kolegium Redakcyjnego  
Wydawnictw Naukowych

Józef Nizioł

Chairman of the Editorial Board

Architektura  
Automatyka  
Budownictwo  
Chemia  
Elektrotechnika  
Informatyka

Dariusz Kozłowski  
Piotr Kulczycki  
Marek Piekarczyk  
Krzysztof Pielichowski  
Piotr Drozdowski  
Stanisław Deniziak

Architecture  
Automatic Control  
Civil Engineering  
Chemistry  
Electrical Engineering  
Computer Science and  
Information Systems  
Mechanics  
Fundamental Sciences  
Environmental Engineering

Mechanika  
Nauki Podstawowe  
Środowisko

Józef Gawlik  
Włodzimierz Wójcik  
Stanisław Kandefer

Sekretarz Sekcji Dorota Sapek Section Editor

Opracowanie redakcyjne Aleksandra Urzędowska Editorial Compilation

©Copyright by Politechnika Krakowska

# CZASOPISMO TECHNICAL TECHNICZNE TRANSACTIONS

Wersją pierwotną Czasopisma Technicznego jest wersja on-line

ISSN 0011-4561

ISSN 2081-2671

Wydawnictwo jest rejestrowane w bazie danych  
BazTech <http://baztech.icm.edu.pl>

The CUT Press is registered in the database  
BazTech <http://baztech.icm.edu.pl>

Wydawnictwo PK, ul. Skarżyńskiego 1, 31-866 Kraków  
tel.: 012 628 37 25; fax: 012 628 37 60  
e-mail: [wydawnictwo@pk.edu.pl](mailto:wydawnictwo@pk.edu.pl)  
Adres do korespondencji: ul. Warszawska 24  
31-155 Kraków

Projekt okładki: Jerzy Stefan

Druk i oprawę wykonano  
w Dziale Poligrafii Politechniki Krakowskiej  
Ark. wyd. 7,0. Ark. druk. 10  
Zam. 190/13 Nakład: 90 egz.

1-NP/2012

ZESZYT 18  
ROK 109

ISSUE 18  
YEAR 109

FUNDAMENTAL SCIENCES

MONIKA HERZOG\*

APPROXIMATION OF FUNCTIONS OF TWO  
VARIABLES FROM EXPONENTIAL WEIGHT SPACESAPROKSYMACJA FUNKCJI DWÓCH ZMIENNYCH  
Z WYKŁADNICZYCH PRZESTRZENI WAGOWYCH

## Abstract

In this paper we study approximative properties of modified Szasz-Mirakyan operators for functions of two variables from exponential weight spaces. We present theorems giving a degree of approximation by these operators for exponential bounded functions.

*Keywords: linear positive operators, Bessel function, modulus of continuity, degree of approximation*

## Streszczenie

W artykule przedstawiono aproksymacyjne własności zmodyfikowanych operatorów typu Szasa-Mirakjana dla funkcji dwóch zmiennych z wykładniczych przestrzeni wagowych. Wyprowadzono twierdzenia podające rząd aproksymacji funkcji ograniczonych wykładniczo przez operatory tego typu.

*Słowa kluczowe: dodatni operator liniowy, funkcja Bessela, modul ciągłości, rząd aproksymacji*

\* Dr Monika Herzog, Instytut Matematyki, Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki, Politechnika Krakowska.

## 1. Introduction

Let us denote by  $C(R_0)$  a set of all real-valued functions continuous on  $R_0 = [0; +\infty)$ . In paper [1] we investigated operators of Szasz-Mirakyan type defined as follows

$$A_n^v(f; x) = \begin{cases} \frac{1}{I_\nu(nx)} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{nx}{2}\right)^{2k+v}}{\Gamma(k+1)\Gamma(k+v+1)} f\left(\frac{2k}{n}\right), & x > 0; \\ f(0), & x = 0, \end{cases}$$

where  $\Gamma$  is the Euler-gamma function and  $I_\nu$  the modified Bessel function defined by the formula ([6], p. 77)

$$I_\nu(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{z}{2}\right)^{2k+v}}{\Gamma(k+1)\Gamma(k+v+1)} \quad (1)$$

We studied approximative properties of these operators in exponential weight spaces

$$E_p = \left\{ f \in C(R_0) : w_p f \text{ is uniformly continuous and bounded on } R_0 \right\},$$

where  $w_p$  was the exponential weight function defined as follows:

$$w_p(x) = e^{-px}, \quad p \in R_+ \quad (2)$$

for  $x \in R_0$ .

In the spaces we introduced the norm:

$$\|f\|_p = \sup \left\{ w_p(x) |f(x)| : x \in R_0 \right\} \quad (3)$$

and we established ([1], Corollary 1) that operators  $A_n^v$  are linear, positive, bounded and transform the space  $E_p$  into  $E_r$  for some  $r > p$ .

Notice that a certain modification of  $A_n^v$  give a linear, positive and bounded operator  $L_n^v$  transforming the space  $E_p$  into  $E_r$  (Theorem 2.1), namely:

$$L_n^v(f; x) = \begin{cases} \frac{1}{I_\nu(nx)} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{nx}{2}\right)^{2k+v}}{\Gamma(k+1)\Gamma(k+v+1)} f\left(\frac{2k}{n+p}\right), & x > 0; \\ f(0), & x = 0. \end{cases} \quad (4)$$

In the present paper we introduce an analogy of the presented theorems for  $f \in E_p$ , but now we consider the bivariate version of the operator  $L_n^v$

$$L_{n,m}^{\nu,\mu}(f;x,y)= \tag{5}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{I_\nu(nx)} \frac{1}{I_\mu(my)} \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{nx}{2}\right)^{2k+\nu}}{\Gamma(k+1)\Gamma(k+\nu+1)} \frac{\left(\frac{my}{2}\right)^{2j+\mu}}{\Gamma(j+1)\Gamma(j+\mu+1)} f\left(\frac{2k}{n+p}, \frac{2j}{m+q}\right), x>0, y>0; \\ \frac{1}{I_\nu(nx)} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{nx}{2}\right)^{2k+\nu}}{\Gamma(k+1)\Gamma(k+\nu+1)} f\left(\frac{2k}{n+p}, 0\right), x>0, y=0; \\ \frac{1}{I_\mu(my)} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{my}{2}\right)^{2j+\mu}}{\Gamma(j+1)\Gamma(j+\mu+1)} f\left(0, \frac{2j}{m+q}\right), y>0, x=0; \\ f(0,0), x=y=0, \end{array} \right.$$

for  $n, m \in N$ ,  $\nu, \mu \in R_0$  and  $f \in E_{p,q}$ , where:

$$E_{p,q} = \left\{ f \in C(R_0^2) : w_{p,q} f \text{ is uniformly continuous and bounded on } R_0^2 \right\},$$

and  $w_{p,q}$  is the exponential weight function

$$w_{p,q}(x,y) = e^{-(px+qy)}, \quad p, q \in R_+ \tag{6}$$

for  $(x,y) \in R_0^2$ .

It is easy to verify that  $E_{p,q}$  is a normed space with the norm:

$$\|f\|_{p,q} = \sup \left\{ w_{p,q}(x,y) |f(x,y)|; (x,y) \in R_0^2 \right\} \tag{7}$$

Moreover, we use the weighted modulus of continuity defined as follows:

$$\omega(f, E_{p,q}; t, s) = \sup \left\{ \|\Delta_{h,d} f\|_{p,q} : h \in [0, t], d \in [0, s] \right\} \tag{8}$$

where:

$$\Delta_{h,d} f(x,y) = f(x+h, y+d) - f(x,y)$$

for  $(x,y), (h,d) \in R_0^2$ .

The note was inspired by the results of [3–5] which investigate approximation problems for bivariate operators.

We shall present theorems giving a degree of approximation of function  $f \in E_{p,q}$  by operators  $L_{n,m}^{\nu,\mu}$ .

## 2. Auxiliary results

At the beginning we recall preliminary results which we immediately obtain from paper [1] and definition (4).

**Lemma 2.1** ([1], Lemma 8) *For each  $v \in R_0$  there exists a positive constant  $M(v)$  such that for all  $n \in N$  and  $x \in R_0$  we have:*

$$\left| \frac{I_{v+1}(nx)}{I_v(nx)} \right| \leq M(v),$$

$$nx \left| \frac{I_{v+1}(nx)}{I_v(nx)} - 1 \right| \leq M(v).$$

By elementary calculations we get

**Lemma 2.2** *For each  $n \in N$ ,  $v \in R_0$ ,  $p \in R_+$  and  $x \in R_0$ .*

$$L_n^v(1; x) = 1, \quad L_n^v(t; x) = x \frac{n}{n+p} \frac{I_{v+1}(nx)}{I_v(nx)} = \frac{n}{n+p} A_n^v(t; x),$$

$$L_n^v(t^2; x) = x^2 \left( \frac{n}{n+p} \right)^2 \frac{I_{v+2}(nx)}{I_v(nx)} + x \frac{2n}{(n+p)^2} \frac{I_{v+1}(nx)}{I_v(nx)} = \left( \frac{n}{n+p} \right)^2 A_n^v(t; x),$$

$$L_n^v(t-x; x) = \frac{n}{n+p} \left( A_n^v(t; x) - \frac{p}{n} x \right),$$

$$L_n^v((t-x)^2; x) = \left( \frac{n}{n+p} \right)^2 \left( A_n^v((t-x)^2; x) - 2x \frac{p}{n} A_n^v(t-x; x) + \left( \frac{p}{n} x \right)^2 \right)$$

**Lemma 2.3** *For each  $n \in N$ ,  $v \in R_0$ ,  $p \in R_+$  and  $x \in R_0$ .*

$$L_n^v(e^{px}; x) = \frac{I_v\left(nx \exp\left(\frac{p}{n+p}\right)\right)}{I_v(nx)} \exp\left(-\frac{vp}{n+p}\right),$$

$$L_n^v(te^{px}; x) = \frac{nx}{n+p} \frac{I_{v+1}\left(nx \exp\left(\frac{p}{n+p}\right)\right)}{I_v(nx)} \exp\left(\frac{(1-v)p}{n+p}\right),$$

$$L_n^v(t^2 e^{px}; x) = \left( \frac{nx}{n+p} \right)^2 \frac{I_{v+2}\left(nx \exp\left(\frac{p}{n+p}\right)\right)}{I_v(nx)} \exp\left(\frac{(2-v)p}{n+p}\right) + \frac{2}{n+p} \frac{nx}{n+p} \frac{I_{v+1}\left(nx \exp\left(\frac{p}{n+p}\right)\right)}{I_v(nx)} \exp\left(\frac{(1-v)p}{n+p}\right).$$

Similarly to Lemma 6 ([1]), using basic properties of modified Bessel function (1), we can prove

**Lemma 2.4** *For each  $v \in R_0$  and  $p \in R_+$  there exists a positive constant  $M(v, p)$  such that for all  $n \in N$  and  $z \in R_0$  we have:*

$$\frac{I_v\left(z \exp\left(\frac{p}{n+p}\right)\right)}{I_v(z)} \leq M(v, p) \exp\left(z \left( \exp\left(\frac{p}{n+p}\right) - 1 \right) - \frac{p}{2(n+p)}\right).$$

**Lemma 2.5** For all  $v \in R_0$  and  $p \in R_+$  there exists a positive constant  $M(v, p)$  such that for each  $n \in N$  we have

$$\left\| L_n^v(1/w_p; \cdot) \right\|_p \leq M(v, p) \quad (9)$$

**Proof.** Pick  $v \in R_0$  and  $p \in R_+$ . By definition (2) and Lemma 2.3 we get

$$w_p(x) L_n^v(1/w_p(t); x) = e^{-px} \exp\left(-\frac{vp}{n+p}\right) \frac{I_v\left(nx \exp\left(\frac{p}{n+p}\right)\right)}{I_v(nx)},$$

for  $x \in R_0$  and  $n \in N$ .

Substituting  $nx = z$  and applying Lemma 2.4 we get

$$\begin{aligned} w_p(x) L_n^v(1/w_p(t); x) &\leq M(v, p) \exp\left(-\frac{zp}{n}\right) \exp\left(-\frac{vp}{n+p}\right) \exp\left(z\left(\exp\left(\frac{p}{n+p}\right) - 1\right) - \frac{p}{2(n+p)}\right) = \\ &M(v, p) \exp\left(-\left(v + \frac{1}{2}\right) \frac{p}{n+p}\right) \exp\left(z\left(-\frac{p}{n} + \exp\left(\frac{p}{n+p}\right) - 1\right)\right) \leq M(v, p) \end{aligned}$$

because

$$\exp\left(\frac{p}{n+p}\right) - 1 = \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{p}{n+p}\right)^k \frac{1}{k!} < \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{p}{n+p}\right)^k = \frac{p}{n},$$

so we have the following estimation:

$$\exp\left(\frac{p}{n+p}\right) - 1 < \frac{p}{n} \quad (10)$$

for  $n \in N$ . From these inequalities and definition (3) we obtain (9).

An obvious consequence of the above lemma and definition (3) is

**Theorem 2.1** For all  $v \in R_0$  and  $p \in R_+$  there exists a positive constant  $M(v, p)$  such that for each  $n \in N$  and  $f \in E_p$  we have:

$$\left\| L_n^v(f; \cdot) \right\|_p \leq M(v, p) \|f\|_p.$$

Now we present the crucial lemma for the approximating theorems in the next section.

**Lemma 2.6** For all  $v \in R_0$  and  $p \in R_+$  there exists a positive constant  $M(v, p)$  such that for each  $n \in N$  and  $x \in R_0$  we have:

$$w_p(x) \left| L_n^v\left(\frac{(t-x)^2}{w_p(t)}; x\right) \right| \leq M(v, p) \frac{x(x+1)}{n} \quad (11)$$

**Proof.** Let us fix  $v \in R_0$  and  $p \in R_+$ .

By (3), linearity of the operator  $L_n^v$  and Lemma 2.3 it follows that:

$$\begin{aligned}
& w_p(x) \left| L_n^v \left( \frac{(t-x)^2}{w_p(t)} ; x \right) \right| = e^{-px} \left| L_n^v (t^2 e^{pt}; x) - 2x L_n^v (t e^{pt}; x) + x^2 L_n^v (e^{pt}; x) \right| = \\
& e^{-px} \left| \left( \frac{nx}{n+p} \right)^2 \frac{I_{v+2} \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)}{I_v(nx)} \exp \left( \frac{p(2-v)}{n+p} \right) + \frac{2nx}{(n+p)^2} \frac{I_{v+1} \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)}{I_v(nx)} \exp \left( \frac{p(1-v)}{n+p} \right) \right. \\
& \left. - \frac{2nx^2}{n+p} \frac{I_{v+1} \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)}{I_v(nx)} \exp \left( \frac{p(1-v)}{n+p} \right) + x^2 \frac{I_v \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)}{I_v(nx)} \exp \left( \frac{-pv}{n+p} \right) \right| = \\
& e^{-px} \left( \frac{n}{n+p} \right)^2 \exp \left( \frac{-pv}{n+p} \right) \left| x^2 \frac{I_{v+2} \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)}{I_v(nx)} \exp \left( \frac{2p}{n+p} \right) + \frac{2x}{n} \frac{I_{v+1} \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)}{I_v(nx)} \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right. \\
& \left. - 2x^2 \frac{I_{v+1} \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)}{I_v(nx)} \exp \left( \frac{p}{n} \right) + x^2 \frac{I_v \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)}{I_v(nx)} + x^2 \left( \frac{p}{n} \right)^2 \frac{I_v \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)}{I_v(nx)} \right. \\
& \left. x^2 \frac{2p}{n} \frac{I_v \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)}{I_v(nx)} - 2x^2 \frac{p}{n} \frac{I_{v+1} \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)}{I_v(nx)} \exp \left( \frac{p}{n} \right) \right| \leq \\
& e^{-px} \exp \left( \frac{-pv}{n+p} \right) \left( x^2 \left| \frac{\exp \left( \frac{2p}{n+p} \right) I_{v+2} \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)}{I_{v+1} \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)} - \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right| \left| \frac{I_{v+1} \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)}{I_{v+1}(nx)} \right| \left| \frac{I_{v+1}(nx)}{I_v(nx)} \right| + \right. \\
& x^2 \left| 1 - \frac{\exp \left( \frac{p}{n+p} \right) I_{v+1} \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)}{I_v \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)} \right| \left| \frac{I_v \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)}{I_v(nx)} \right| + \frac{2x}{n} \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \left| \frac{I_{v+1} \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)}{I_{v+1}(nx)} \right| \left| \frac{I_{v+1}(nx)}{I_v(nx)} \right| \right. \\
& \left. x^2 \left( \frac{p}{n} \right)^2 \left| \frac{I_v \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)}{I_v(nx)} \right| + x^2 \frac{2p}{n} \left| 1 - \frac{\exp \left( \frac{p}{n+p} \right) I_{v+1} \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)}{I_v \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)} \right| \left| \frac{I_v \left( nx \exp \left( \frac{p}{n+p} \right) \right)}{I_v(nx)} \right| \right).
\end{aligned}$$

Now applying Lemmas 2.1, 2.4, estimation (10) we get (11).

The definition of the operator  $L_{n,m}^{v,\mu}$  implies

$$L_{n,m}^{v,\mu}(f; x, y) = L_n^v(f_1; x) L_m^\mu(f_2; y) \quad (12)$$

for all functions of the form  $f(x, y) = f_1(x)f_2(y)$  where  $f_1 \in E_p$  and  $f_2 \in E_q$ ,  $p, q \in R_+$ .

In particular we get

$$L_{n,m}^{v,\mu}(1; x, y) = 1,$$

$$L_{n,m}^{v,\mu}(1/w_{p,q}; x, y) = L_n^v(1/w_p; x) L_m^\mu(1/w_q; y).$$



From the above facts and Lemma 2.5 we derive

**Lemma 2.8** For all  $\nu, \mu \in R_0$  and  $p, q \in R_+$  there exists a positive constant  $M(\nu, \mu, p, q)$  such that for each  $n, m \in N$  we have:

$$\left\| L_{n,m}^{\nu,\mu} (1/w_{p,q}; \cdot) \right\|_{p,q} \leq M(\nu, \mu, p, q).$$

**Lemma 2.9** For all  $\nu, \mu \in R_0$  and  $p, q \in R_+$  there exists a positive constant  $M(\nu, \mu, p, q)$  such that for each  $n, m \in N$  we have:

$$\left\| L_{n,m}^{\nu,\mu} (f; \cdot) \right\|_{p,q} \leq M(\nu, \mu, p, q) \|f\|_{p,q}.$$

**Proof.** Applying definition (7), linearity of the operator and connection (12) we get

$$\begin{aligned} w_{p,q}(x, y) \left| L_{n,m}^{\nu,\mu} (f(t, s); x, y) \right| &\leq w_{p,q}(x, y) L_{n,m}^{\nu,\mu} (|f(t, s)|; x, y) = \\ &w_{p,q}(x, y) L_{n,m}^{\nu,\mu} \left( w_{p,q}(t, s) f(t, s) \frac{1}{w_{p,q}(t, s)}; x, y \right) \leq \\ &\|f\|_{p,q} w_p(x) w_q(y) L_n^\nu (1/w_p(t); x) L_m^\mu (1/w_q(s); y) \leq M(\nu, p) M(\mu, q) \|f\|_{p,q} \end{aligned}$$

Hence the operator  $L_{n,m}^{\nu,\mu}$  transforms the space  $E_{p,q}$  into  $E_{p,q}$ .

### 3. Approximation theorems

The following theorem estimates a weighted error of approximation for functions belonging to the space  $E_{p,q}^1 = \{f \in E_{p,q} : f' \in E_{p,q}\}$ .

**Theorem 3.1** For all  $\nu, \mu \in R_0$ ,  $p, q \in R_+$  and for each function  $g \in E_{p,q}^1$  there exists a positive constant  $M(\nu, \mu, p, q)$  such that for all  $n, m \in N$  and  $(x, y) \in R_0^2$  we have:

$$\begin{aligned} w_{p,q}(x, y) \left| L_{n,m}^{\nu,\mu} (g; x, y) - g(x, y) \right| &\leq \\ M(\nu, \mu, p, q) &\left( \|g'_x\|_{p,q} \frac{x+1}{\sqrt{n}} + \|g'_y\|_{p,q} \frac{y+1}{\sqrt{m}} \right). \end{aligned}$$

The proofs of the above and the next theorems are analogous to the proofs of Theorems 3.1, 3.2 ([2]) so we omit it.

The following theorem gives a degree of approximation of functions by operators  $L_{n,m}^{\nu,\mu}$ .

**Theorem 3.2** For all  $\nu, \mu \in R_0$ ,  $p, q \in R_+$  and for each function  $f \in E_{p,q}$  there exists a positive constant  $M(\nu, \mu, p, q)$  such that for all  $n, m \in N$  and  $(x, y) \in R_0^2$  we have

$$w_{p,q}(x, y) \left| L_{n,m}^{\nu,\mu} (f; x, y) - f(x, y) \right| \leq M(\nu, \mu, p, q) \omega \left( f, E_{p,q}; \frac{x+1}{\sqrt{n}}, \frac{y+1}{\sqrt{m}} \right).$$

Theorem 3.2 implies the following corollaries.

**Corollary 3.3** If  $\nu, \mu \in R_0$ ,  $p, q \in R_+$  and  $f \in E_{p,q}$  then for all  $(x, y) \in R_0^2$

$$\lim_{n,m \rightarrow \infty} L_{n,m}^{\nu,\mu}(f; x, y) = f(x, y).$$

Moreover, the above convergence is uniform on every set  $[x_1, x_2] \times [y_1, y_2]$  with  $0 \leq x_1 < x_2$ ,  $0 \leq y_1 < y_2$ .

**Corollary 3.4** For all  $\alpha, \beta \in (0, 1]$ ,  $\nu, \mu \in R_0$ ,  $p, q \in R_+$  and for each  $f \in \text{Lip}(E_{p,q}^{\nu,\mu}, \alpha, \beta)$  there exists a positive constant  $M(\nu, \mu, p, q)$  such that for all  $n, m \in N$  and  $(x, y) \in R_0^2$  we have:

$$w_{p,q}(x, y) |L_{n,m}^{\nu,\mu}(f; x, y) - f(x, y)| \leq M(\nu, \mu, p, q) \left( \left( \frac{x+1}{\sqrt{n}} \right)^\alpha + \left( \frac{y+1}{\sqrt{m}} \right)^\beta \right),$$

$$\text{where } \text{Lip}(E_{p,q}, \alpha, \beta) = \left\{ f \in E_{p,q} : \omega(f, E_{p,q}; t, s) = O(t^\alpha + s^\beta) \right\}.$$

## References

- [1] Herzog M., *Approximation of functions from exponential weight spaces by operators of Szasz-Mirakyan type*, Comment. Math. 43, 1, 2003, 77-94.
- [2] Herzog M., *Approximation of functions of two variables by modified Szasz-Mirakyan operators*, Comment. Math. 52, 1, 2012, 3-9.
- [3] Rempulska L., Skorupka M., *On some operators in weighted spaces of functions of two variables*, Ricerche Mat. 48, 1, 1999, 1-20.
- [4] Wachnicki E., *Approximation by bivariate Mazhar-Totik operators*, Comment. Math. 50, 2, 2010, 141-153.
- [5] Walczak Z., *On certain modified Szasz-Mirakjan operators for functions of two variables*, Demonstratio Math. 33, 1, 2000, 91-100.
- [6] Watson G.N., *Theory of Bessel functions*, Cambridge Univ. Press, Cambridge 1966.

JAN PUDEŁKO\*

A FAMILY OF GOODNESS-OF-FIT TESTS  
FOR THE CAUCHY DISTRIBUTIONRODZINA TESTÓW ZGODNOŚCI Z ROZKŁADEM  
CAUCHY'EGO

## Abstract

A new family of goodness-of-fit test for the Cauchy distribution is proposed in the paper. Every member of this family is affine invariant and consistent against any non Cauchy distribution. Results of the Monte Carlo simulations performed to verify finite sample behaviour of the new tests are presented.

*Keywords: Cauchy distribution, goodness-of-fit test, empirical characteristic function*

## Streszczenie

W artykule zaproponowano nową rodzinę testów zgodności z rozkładem Cauchy'ego. Każdy test z tej rodziny jest afinicznie niezmienniczy i zgodny przeciwko każdej alternatywie nie będącej rozkładem Cauchy'ego. Zaprezentowano także wyniki symulacji numerycznych przeprowadzonych w celu zbadania zachowania nowych testów dla skończonych prób.

*Słowa kluczowe: Rozkład Cauchy'ego, test zgodności, empiryczna funkcja charakterystyczna*

\* Dr Jan Pudełko, Instytut Matematyki, Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki Stosowanej, Politechnika Krakowska.

## 1. Introduction

Let  $X_1, X_2, \dots$  be a sequence of i.i.d. random variables with distribution function  $F$ . We consider the problem of testing the hypothesis:

$$H_0 : F \in \mathcal{F}$$

against

$$H_1 : F \notin \mathcal{F}$$

where  $\mathcal{F}$  is the family of the Cauchy distributions, i.e.

$$\mathcal{F} = \left\{ F : F(x) = F_0\left(\frac{x-m}{\sigma}\right), (m, \sigma)' \in \mathbb{R} \times (0, \infty) \right\}$$

with

$$F_0(x) = 1/2 + \pi^{-1} \arctan x.$$

The location parameter  $m$  is the median and the scale parameter  $\sigma$  represents half of the interquartile range in this case. In recent years there were several papers devoted to this problem. Gürtler and Henze [5] and Matsui and Takemura [9] considered the test statistics of the form

$$(1) \quad D_n = n \int_{\mathbb{R}} |\varphi_n(t) - \varphi_0(t)|^2 w(t) dt,$$

where  $\varphi_n$  is the empirical characteristic function

$$\varphi_n(t) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \exp(itY_j)$$

of the standardized with suitable estimators data

$$(2) \quad Y_j = (X_j - \hat{m}_n) / \hat{\sigma}_n, j=1, \dots, n,$$

$\varphi_0(t) = \exp(-|t|)$  is the theoretical characteristic function of the standard Cauchy distribution and  $w(t)$  is the weight function. The weight  $w(t) = \exp(-\lambda|t|)$  considered in [5, 9] results with simply and closed form of the test statistics, namely

$$D_{n,\lambda} = \frac{2}{n} \sum_{j,k=1}^n \frac{\lambda}{\lambda^2 + (Y_j - Y_k)^2} - 4 \sum_{j=1}^n \frac{1+\lambda}{(1+\lambda)^2 + Y_j^2} + \frac{2n}{2+\lambda}.$$

Gürtler and Henze [5] showed that with the sample median and half of the interquartile range as the estimators of location and scale, respectively, the test based on  $D_{n,\lambda}$  is consistent against each alternative distribution having a unique median and unique upper and lower quartiles. In this paper we propose another test statistics of the form (1). Since the most important properties of a distribution are determined by the behaviour of the characteristic function in a neighbourhood of zero, especially in the case of heavily tailed distribution like the Cauchy one, one should use the weight putting more mass around zero. For this reason we will use unbounded in zero weight function. With the weight

$$w(t) = \exp(-\lambda|t|)/|t|^\nu,$$

where  $\lambda > 0$  and  $\gamma \in (0; 1)$ , the test statistic again has closed form, namely

$$D_{n,\lambda,\gamma} = 2\Gamma(1-\gamma) \left( n(2+\lambda)^{\gamma-1} - 2 \sum_{j=1}^n \left( (1+\lambda)^2 + Y_j^2 \right)^{(\gamma-1)/2} \cos \left( (\gamma-1) \arctan \left( \frac{Y_j}{1+\lambda} \right) \right) \right) \\ + \frac{1}{n} \sum_{j,k=1}^n \left( \lambda^2 + (Y_j - Y_k)^2 \right)^{(\gamma-1)/2} \cos \left( (\gamma-1) \arctan \left( \frac{Y_j - Y_k}{\lambda} \right) \right).$$

Since the family of the Cauchy distributions is closed with respect to the affine transformations one is interested in affine invariant test. To obtain an affine invariant test statistic of the form (1) it is enough to standardize the sample with equivariant estimators in (2), i.e. estimators  $\hat{m}_n = \hat{m}_n(X_1, \dots, X_n)$  and  $\hat{\sigma}_n = \hat{\sigma}_n(X_1, \dots, X_n)$  such that for every  $a > 0$  and  $b \in \mathbb{R}$  we have

$$\hat{m}_n(aX_1 + b, \dots, aX_n + b) = a\hat{m}_n(X_1, \dots, X_n) + b$$

and

$$\hat{\sigma}_n(aX_1 + b, \dots, aX_n + b) = a\hat{\sigma}_n(X_1, \dots, X_n).$$

The previous authors considered the sample median and half of the interquartile range [5], the maximum likelihood estimators (MLE) and the EISE estimators [9]. Since the use of EISE do not improve the power of the test complicating the calculations at the same time we do not consider these estimators in this paper.

The paper is organized as follows. Section 2 contains a review of properties of estimators proposed in [10] by Pudełko. In Sections 3 and 4 there are main results of the paper, e.i. theorems concerning the weak convergence of  $D_{n,\lambda,\gamma}$  when the sample comes from the Cauchy distribution, its limit distribution and the consistency of corresponding test against each non-Cauchy alternative distribution. Section 5 presents the results of the numerical simulations performed to verify the finite sample behaviour of the new test.

## 2. Estimators of the parameters of the Cauchy distribution

The choice of the parameters used to standardize the data in (2) is very important to the performance of the test. In this paper besides MLE and order estimators (sample median and half of the quartile range) we will use estimators proposed by Pudełko in [10]. These estimators are defined as argument  $\hat{\theta}_{n,\alpha} = (\hat{m}_n, \hat{\sigma}_n)$  minimizing<sup>1</sup> the distance

$$\delta_\alpha(\theta) = \int_{\mathbb{R}} \frac{|\varphi_n(t) - \varphi_\theta(t)|^2}{|t|^{1+\alpha}} dt,$$

<sup>1</sup> Estimators defined as argument minimizing

$$\int_{\mathbb{R}} |\varphi_n(t) - \varphi_\theta(t)|^2 w(t) dt$$

were proposed independently by [6] and [11] but these authors considered bounded weight function  $w$ .

where  $\varphi_n$  is the empirical characteristic function,  $\varphi_\theta(t) = e^{itm - \sigma|t|}$  is the characteristic function of the Cauchy distribution with the median  $m$  and the interquartile range  $2\sigma$ . In [10] was showed that  $\hat{\theta}_{n,\alpha}$  may be equivalently defined by

$$\hat{\theta}_{n,\alpha} := \operatorname{argmin}_{\theta \in \Theta} 2\Gamma(-\alpha)\sigma^\alpha \left( 2^{\alpha-1} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \cos^{-\alpha} Z_j \cos(\alpha Z_j) \right),$$

where  $\Gamma$  is the Gamma function and  $Z_j = \arctan((X_j - m)/\sigma)$ : As it was showed in [10] the family of the above estimators can be continuously closed by taking for  $\alpha = 0$  the ML estimators

$$\hat{\theta}_{n,0} = \operatorname{argmax}_{\theta \in \Theta} \left( \log \sigma - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \log(\sigma^2 + (X_j - m)^2) \right).$$

Estimators  $\hat{\theta}_{n,\alpha}$  are affine equivariant, strongly consistent, asymptotically normally distributed with the covariance matrix

$$\Sigma(\theta_0) = \frac{2\sigma_0^2}{(\alpha-1)^2} \left( \frac{1}{(3-2\alpha)B(2-\alpha, 2-\alpha)} - 1 \right) I_2,$$

where  $B$  is the Beta function and  $I_2$  is the  $2 \times 2$  identity matrix and have the following Bahadur representation

$$(3) \quad \begin{aligned} \sqrt{n}\hat{m}_{n,\alpha} &= \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{j=1}^n l_1(X_j) + o_p(1), \\ \sqrt{n}(\hat{\sigma}_{n,\alpha} - \sigma_0) &= \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{j=1}^n l_2(X_j) + o_p(1), \end{aligned}$$

with

$$\begin{aligned} l_1(x) &= \frac{2^{2-\alpha}}{1-\alpha} \cos^{1-\alpha} z \sin((1-\alpha)z), \\ l_2(x) &= \frac{2^{2-\alpha}}{1-\alpha} \left( 2^{\alpha-1} - \cos^{1-\alpha} z \cos((1-\alpha)z) \right). \end{aligned}$$

### 3. Asymptotic behaviour of the proposed test statistic

The following useful representation of  $D_{n,\lambda,\gamma}$  can be obtained by straightforward algebra

$$(4) \quad D_{n,\lambda,\gamma} = \int_{\mathbb{R}} \hat{Z}_n(t)^2 \frac{e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|t|} \hat{\sigma}_n^{1-\gamma}}{|t|^\gamma} dt,$$

where

$$(5) \quad \hat{Z}_n(t) = \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{j=1}^n \left( \cos(tX_j) + \sin(tX_j) - e^{-\hat{\sigma}_n|t|} (\cos(t\hat{m}_n) + \sin(t\hat{m}_n)) \right).$$

We will consider  $\hat{Z}_n(t)$  as a random element in the Frechet space  $C(\mathbb{R})$  of continuous functions on the real line endowed with the metric

$$(6) \quad \rho(f, g) = \sum_{j=1}^{\infty} \frac{1}{2^j} \frac{\rho_j(f, g)}{1 + \rho_j(f, g)},$$

where  $\rho_j(f, g) = \sup_{|t| \leq j} |f(t) - g(t)|$ .

Now we formulate the following theorem on the convergence of the process  $\hat{Z}_n$ .

**Theorem 1.** Let  $X_1, X_2, \dots$  be a sequence of independent, identically, Cauchy distributed random variables. Then there exists a centered Gaussian process  $Z$  in  $C(\mathbb{R})$  such that

$$\hat{Z}_n \xrightarrow{d} Z \text{ in } C(\mathbb{R}),$$

where “ $\xrightarrow{d}$ ” denotes weak convergence. If  $\hat{m}_n$  and  $\hat{\sigma}_n$  are the sample median and half of the interquartile range, respectively, than the covariance kernel of  $Z$  is

$$K(s, t) = e^{-|t-s|} + \frac{\pi}{2} e^{-|t-s|} \left( \frac{\pi}{2} st + \frac{\pi}{2} |st| + |s| + |t| - 1 \right) - e^{-|t|} (tJ_1(s) + 2|t|J_2(s)) - e^{-|s|} (sJ_1(t) + 2|s|J_2(t)),$$

for all  $t, s \in \mathbb{R}$ , where

$$J_1(s) = \int_0^{\infty} \frac{\sin(sx)}{1+x^2} dx, \quad J_2(s) = \int_0^1 \frac{\cos(sx)}{1+x^2} dx.$$

For the estimators  $\hat{\theta}_{n,\alpha}$  we have

$$(7) \quad K_{\alpha}(s, t) = \begin{cases} e^{-|t-s|} - e^{-|t-s|} \left[ 1 - \frac{4st}{(\alpha-1)^2} \left( \frac{1}{(3-2\alpha)B(2-\alpha, 2-\alpha)} - 1 \right) \right] \\ + \frac{2}{\alpha-1} \left( |t| e^{2|s|} \frac{\Gamma(2-\alpha, 2|s|)}{\Gamma(2-\alpha)} + |s| e^{2|t|} \frac{\Gamma(2-\alpha, 2|t|)}{\Gamma(2-\alpha)} - |s| - |t| \right) & \text{if } t \cdot s > 0 \\ 0 & \text{if } t \cdot s < 0. \end{cases}$$

In particular, for the maximum likelihood estimators we have

$$(8) \quad K_0(s, t) = e^{-|t-s|} - (1 + 2(st + |st|)) e^{-|t-s|}.$$

**Proof.** In the case of the MLE, the sample median and half of the interquartile range this theorem was proved in [5, 9] respectively. Here we prove the case of estimators  $\hat{\theta}_{n,\alpha}$ . Let  $S \subset \mathbb{R}$ . By  $C(S)$  we denote the space of real-valued continuous function on  $S$  with the supremum norm. Using the Theorem of Csörgő and the notation therein (Section 3. of [3]) we will show that  $Z_n(t)$  is weakly convergent in  $C(S)$  to the zero mean Gaussian process with the covariance kernel  $K_{\alpha}(\cdot, \cdot)$ . Assumptions (i)\*, (ii)\* and (vi) do not depend on the choice of the estimators and were verified in [5].

Assumption (iv) is a consequence of the Bahadur representation of the estimators  $\hat{\theta}_{n,\alpha}$  presented in the previous section. In order to verify the Assumption (v) we estimate

$$\begin{aligned}
& \sup_{|x| \leq t} (\|l(x, \theta_0)\| + \|D_x l(x, \theta_0)\|) \\
& \leq \sup_{|x| \leq t} \left( \frac{2^{2-\alpha}}{1-\alpha} \max(|\cos^{1-\alpha} z \sin(z(1-\alpha))|, |2^{\alpha-1} - \cos^{1-\alpha} z \cos(z(1-\alpha))|) \right. \\
& \quad \left. + 2^{2-\alpha} \max(|\cos^{2-\alpha} z \sin(z(2-\alpha))|, |\cos^{2-\alpha} z \cos(z(2-\alpha))|) \right) \\
& \leq \frac{2^{2-\alpha}}{1-\alpha} (2^{\alpha-1} + 1) + 2^{2-\alpha} < \infty.
\end{aligned}$$

Hence,  $\hat{Z}_n$  converges weakly in  $C(S)$  to the zero mean Gaussian process with the covariance kernel of the form

$$\begin{aligned}
K(s, t) &= e^{-|s-t|} - e^{-|s|+|t|} + H(s, \theta_0)^T E(l(X_1)l(X_1)^T) H(t, \theta_0) \\
& - \langle H(t, \theta_0), \int_{\mathbb{R}} k(x, s) l(x) dF_0(x) \rangle - \langle H(s, \theta_0), \int_{\mathbb{R}} k(x, t) l(x) dF_0(x) \rangle,
\end{aligned}$$

where

$$H(t, \theta) = \int_{\mathbb{R}} k(x, t) d\nabla_{\theta} F(x, \theta).$$

By the direct calculation we have

$$H(t, \theta_0) = (te^{-|t|}, -|t|e^{-|t|})^T.$$

Let us now calculate next components of  $K(s, t)$ .

$$\begin{aligned}
E(l(X_1)l(X_1)^T) &= E(\Lambda^{-1}\psi(X_1, \theta_0)(\Lambda^{-1}\psi(X_1, \theta_0))^T) = \Lambda^{-1}C\Lambda^{-1} \\
&= \Sigma(\theta_0) = \frac{2}{(\alpha-1)^2} \left( \frac{1}{(3-2\alpha)B(2-\alpha, 2-\alpha)} - 1 \right) I_2,
\end{aligned}$$

thus,

$$\begin{aligned}
& H(s, \theta_0)^T E(l(X_1)l(X_1)^T) H(t, \theta_0) \\
&= \frac{2}{(\alpha-1)^2} \left( \frac{1}{(3-2\alpha)B(2-\alpha, 2-\alpha)} - 1 \right) e^{-|t|-|s|} (st + |st|). \\
\int_{\mathbb{R}} k(x, s) l_1(x) dF_0(x) &= \frac{2^{2-\alpha}}{\pi(1-\alpha)} \int_{\mathbb{R}} (\cos(sx) + \sin(sx)) \cos^{1-\alpha} z \sin(z(1-\alpha)) \frac{dx}{1+x^2} \\
&= \frac{2^{3-\alpha}}{\pi(1-\alpha)} \int_0^{\pi/2} \cos^{1-\alpha} z \sin(z(1-\alpha)) \sin(s \tan z) dz, \\
\int_{\mathbb{R}} k(x, s) l_2(x) dF_0(x) &= \frac{2}{\pi(1-\alpha)} \int_{\mathbb{R}} (\cos(sx) + \sin(sx)) \frac{dx}{1+x^2} \\
& - \frac{2^{2-\alpha}}{\pi(1-\alpha)} \int_{\mathbb{R}} (\cos(sx) + \sin(sx)) \cos^{1-\alpha} z \sin(z(1-\alpha)) \frac{dx}{1+x^2}
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
&= \frac{4}{\pi(1-\alpha)} \int_0^{\pi/2} \cos(s \tan z) dz - \frac{2^{3-\alpha}}{\pi(1-\alpha)} \int_0^{\pi/2} \cos^{1-\alpha} z \cos(z(1-\alpha)) \cos(s \tan z) dz \\
&= \frac{2}{(1-\alpha)} e^{-|s|} - \frac{2^{3-\alpha}}{\pi(1-\alpha)} \int_0^{\pi/2} \cos^{1-\alpha} z \cos(z(1-\alpha)) \cos(s \tan z) dz,
\end{aligned}$$

(comp. [4] formula 3.723.2).

Hence,

$$\begin{aligned}
&\langle H(t, \theta_0), \int_{\mathbb{R}} k(x, s) l(x) dF_0(x) \rangle \\
&= t e^{-|t|} \frac{2^{3-\alpha}}{\pi(1-\alpha)} \int_0^{\pi/2} \cos^{1-\alpha} z \sin(z(1-\alpha)) \sin(s \tan z) dz - |t| e^{-|t|} \frac{2}{(1-\alpha)} e^{-|s|} \\
&\quad + |t| e^{-|t|} \frac{2^{3-\alpha}}{\pi(1-\alpha)} \int_0^{\pi/2} \cos^{1-\alpha} z \cos(z(1-\alpha)) \cos(s \tan z) dz \\
&= |t| e^{-|t|} \frac{2^{3-\alpha}}{\pi(1-\alpha)} \int_0^{\pi/2} \cos^{1-\alpha} z \cos(z(1-\alpha) \mp s \tan z) dz - \frac{2|t| e^{-|s|-|t|}}{(1-\alpha)}.
\end{aligned}$$

In the above integral there is minus when  $s \cdot t > 0$  and plus in another case.

In the case of  $s \cdot t > 0$  using the formulas 3.718.6 and 9.224 of [4] we have

$$\begin{aligned}
&\langle H(t, \theta_0), \int_{\mathbb{R}} k(x, s) l(x) dF_0(x) \rangle \\
&= \frac{2|t| e^{-|t|} |s|^{(1-\alpha)/2} W_{(1-\alpha)/2, (2-\alpha)/2}(2|s|)}{1-\alpha} - \frac{2|t| e^{-|s|-|t|}}{(1-\alpha)} \\
&= \frac{2|t| e^{-|t|+|s|} \Gamma(2-\alpha, 2|s|)}{1-\alpha} - \frac{2|t| e^{-|s|-|t|}}{(1-\alpha)} \\
&= \frac{2|t| e^{-|t|-|s|}}{1-\alpha} \left( e^{2|s|} \frac{\Gamma(2-\alpha, 2|s|)}{\Gamma(2-\alpha)} - 1 \right),
\end{aligned}$$

where  $W$  is the Whittaker function, and  $\Gamma(\cdot, \cdot)$  denotes the incomplete Gamma function. In the second case ( $s \cdot t < 0$ ) by formula 3.718.5 of Gradshteyn, Ryzhik [4] we obtain

$$\langle H(t, \theta_0), \int_{\mathbb{R}} k(x, s) l(x) dF_0(x) \rangle = 0.$$

Thus  $K_\alpha(\cdot, \cdot)$  is of the form (7).

Since the convergence of  $\hat{Z}_n$  in  $C(S)$  was showed for any compact set  $S \subset \mathbb{R}$ ;  $\hat{Z}_n$  converges to  $Z$  also in the Frechet space  $C(\mathbb{R})$  with the metric  $\rho$  (comp. [8], p. 62).

Now we present the theorem on the convergence of the test statistic  $D_{n, \lambda, \gamma}$ . □

**Theorem 2.** *Under the assumptions of Theorem 1 we have*

$$(9) \quad D_{n, \lambda, \gamma} = \int_{\mathbb{R}} \frac{\hat{Z}_n^2(t) \hat{\sigma}_n^{1-\gamma} e^{-\hat{\sigma}_n \lambda |t|}}{|t|^\gamma} dt \xrightarrow{d} D_{\lambda, \gamma} := \int_{\mathbb{R}} \frac{Z^2(t) e^{-\lambda |t|}}{|t|^\gamma} dt.$$

**Proof.** Since

$$\int_{\mathbb{R}} K(t,t) \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^\gamma} dt < \infty$$

and

$$\int_{\mathbb{R}} K_\alpha(t,t) \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^\gamma} dt < \infty,$$

by the Tonelli Theorem we have

$$ED_{\lambda,\gamma} = \int_{\mathbb{R}} Z^2(t) \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^\gamma} dt < \infty.$$

Thus,  $D_{\lambda,\gamma}$  is finite with probability 1. By the following Taylor expansion

$$F(x, \hat{\theta}_n) - F(x, \theta_0) = \langle \hat{\theta}_n - \theta_0, \nabla_\theta F(x, \theta_0^*) \rangle,$$

where  $|\theta_n^* - \theta_0| \leq |\hat{\theta}_n - \theta_0| \rightarrow 0$  with probability 1,  $\hat{Z}_n$  has the form

$$\begin{aligned} \hat{Z}_n(t) &= \int_{\mathbb{R}} k(x,t) d\sqrt{n}(F_n(x) - F(x, \hat{\theta}_n)) \\ &= \int_{\mathbb{R}} k(x,t) d\sqrt{n}(F_n(x) - F(x, \theta_0)) + \int_{\mathbb{R}} k(x,t) d\sqrt{n}(F(x, \theta_0) - F(x, \hat{\theta}_n)) \\ &= \int_{\mathbb{R}} k(x,t) d\sqrt{n}(F_n(x) - F(x, \theta_0)) - \langle \sqrt{n}(\hat{\theta}_n - \theta_0), \int_{\mathbb{R}} k(x,t) d\nabla_\theta F(x, \theta_0^*) \rangle \\ &= \int_{\mathbb{R}} k(x,t) d\sqrt{n}(F_n(x) - F(x, \theta_0)) - \langle \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{j=1}^n l(X_j), H(t, \theta_0) \rangle \\ &\quad + \langle \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{j=1}^n l(X_j), H(t, \theta_0) \rangle - \langle \sqrt{n}(\hat{\theta}_n - \theta_0), H(t, \theta_0^*) \rangle \\ &= Z_n^*(t) + \langle \sqrt{n}(\hat{\theta}_n - \theta_0), H(t, \theta_0) - H(t, \theta_0^*) \rangle \\ &\quad + \langle \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{j=1}^n l(X_j) - \sqrt{n}(\hat{\theta}_n - \theta_0), H(t, \theta_0) \rangle \\ &= Z_n^*(t) + \langle \sqrt{n}(\hat{\theta}_n - \theta_0), H(t, \theta_0) - H(t, \theta_0^*) \rangle + \langle o_p(1), H(t, \theta_0) \rangle, \end{aligned}$$

where  $Z_n^*$  is the following process

$$\begin{aligned} Z_n^*(t) &:= \int_{\mathbb{R}} k(x,t) d\sqrt{n}(F_n(x) - F_0(x)) - \left\langle \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{j=1}^n l(X_j), H(t, \theta_0) \right\rangle \\ &= \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{j=1}^n (\cos(tX_j) + \sin(tX_j) - e^{-|t|} - te^{-|t|} l_1(X_j) + |t| e^{-|t|} l_2(X_j)). \end{aligned}$$

By straightforward calculations it is easy to show that the process  $Z_n^*$  has zero mean function and the same covariance kernel as the process  $Z$  and that  $Z_n^*$  converges weakly to  $Z$  in  $C(S)$ . Since this convergence takes place for any compact set  $S \subset \mathbb{R}$ ,  $Z_n^*$  converge weakly do  $Z$  in the Frechet space  $C(\mathbb{R})$ .

Further in this proof the following convergences will be needed

$$(10) \quad \int_{\mathbb{R}} (\hat{Z}_n(t) - Z_n^*(t))^2 \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^\gamma} dt \rightarrow 0,$$

$$(11) \quad \int_{\mathbb{R}} (\hat{Z}_n(t) - Z_n^*(t))^2 \left( \frac{e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|t|}}{|t|^\gamma} - \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^\gamma} \right) dt \rightarrow 0$$

and

$$(12) \quad \int_{\mathbb{R}} Z_n^*(t)^2 \frac{e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|t|}}{|t|^\gamma} dt - \int_{\mathbb{R}} Z_n^*(t)^2 \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^\gamma} dt \rightarrow 0.$$

In order to obtain (10) we calculate

$$\begin{aligned} & \int_{\mathbb{R}} (\hat{Z}_n(t) - Z_n^*(t))^2 \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^\gamma} dt \\ &= \int_{\mathbb{R}} (\langle \sqrt{n}(\hat{\theta}_n - \theta_0), H(t, \theta_0) - H(t, \theta_n^*) \rangle + \langle o_p(1), H(t, \theta_0) \rangle)^2 \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^\gamma} dt \\ &= \sum_{i,j=1}^2 \tau_{ni} \tau_{nj} \int_{\mathbb{R}} (H_i(t, \theta_0) - H_i(t, \theta_n^*)) (H_j(t, \theta_0) - H_j(t, \theta_n^*)) \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^\gamma} dt \\ &\quad + 2 \sum_{i,j=1}^2 \tau_{ni} o_p(1) \int_{\mathbb{R}} (H_i(t, \theta_0) - H_i(t, \theta_n^*)) H_j(t, \theta_0) \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^\gamma} dt \\ &\quad + \sum_{i,j=1}^2 o_p(1) \int_{\mathbb{R}} H_i(t, \theta_0) H_j(t, \theta_0) \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^\gamma} dt, \end{aligned}$$

where  $\tau_{n1} = \sqrt{n}\hat{m}_n$  and  $\tau_{n2} = \sqrt{n}(\hat{\sigma}_n - 1)$ .  $H_i$  are bounded and continuous on the set  $S \times \Theta_0$ , where  $S \subset \mathbb{R}$  is any compact set and  $\Theta_0$  is closure of certain neighborhood of  $\theta_0$ , the sequences  $\tau_{n1}$  and  $\tau_{n2}$  are tight and  $H_i(t, \theta_0) - H_i(t, \theta_n^*)$  converge to 0 with probability 1 for  $i = 1, 2$ ; thus, in the consequence, we obtain (10).

Convergence (11) can be obtained analogously.

Using the Taylor expansion

$$e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|t|} = e^{-\lambda|t|} - \lambda|t|e^{-\lambda|t|\delta_n}(\hat{\sigma}_n - 1),$$

where  $|\delta_n - 1| \leq |\hat{\sigma}_n - 1|$  and the Schwarz inequality we estimate

$$\begin{aligned} & \left| \int_{\mathbb{R}} Z_n^*(t)^2 \frac{e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|t|}}{|t|^\gamma} dt - \int_{\mathbb{R}} Z_n^*(t)^2 \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^\gamma} dt \right| \\ (13) \quad & \leq \lambda |\hat{\sigma}_n - 1| \int_{\mathbb{R}} Z_n^*(t)^2 \frac{e^{-\lambda|t|\delta_n}}{|t|^{\gamma-1}} dt \\ & \leq \lambda |\hat{\sigma}_n - 1| \left( \int_{\mathbb{R}} Z_n^*(t)^4 e^{-\lambda|t|} dt \right)^{1/2} \left( \int_{\mathbb{R}} \frac{e^{-\lambda|t|(2\delta_n-1)}}{|t|^{2\gamma-2}} dt \right)^{1/2}. \end{aligned}$$

As it was showed in Gurtler i Henze [5] the sequence

$$\left( \int_{\mathbb{R}} Z_n^*(t)^4 e^{-\lambda|t|} dt \right)^{1/2}$$

is tight. Since  $\hat{\sigma}_n \rightarrow 1$  with probability 1, the last integral in (13) converge with probability 1 to  $2\Gamma(3 - 2\gamma)/\lambda^{3-2\gamma}$  and in the consequence we obtain (12).

Convergence

$$(14) \quad \int_{\mathbb{R}} Z_n^*(t)^2 \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^\gamma} dt \xrightarrow{d} \int_{\mathbb{R}} Z(t)^2 \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^\gamma} dt$$

can be proved analogously to Henze and Wagner ([7], proof of 2.17, pp. 10-12) By (10) and (11) we have

$$\begin{aligned} & \left| \left( \int_{\mathbb{R}} \hat{Z}_n(t)^2 \frac{e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|t|}}{|t|^\gamma} dt \right)^{1/2} - \left( \int_{\mathbb{R}} Z_n^*(t)^2 \frac{e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|t|}}{|t|^\gamma} dt \right)^{1/2} \right| \\ & \leq \left( \int_{\mathbb{R}} (\hat{Z}_n(t) - Z_n^*(t))^2 \frac{e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|t|}}{|t|^\gamma} dt \right)^{1/2} \xrightarrow{P} 0, \end{aligned}$$

thus

$$\left( \int_{\mathbb{R}} \hat{Z}_n(t)^2 \frac{e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|t|}}{|t|^\gamma} dt \right)^{1/2} = \left( \int_{\mathbb{R}} Z_n^*(t)^2 \frac{e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|t|}}{|t|^\gamma} dt \right)^{1/2} + o_P(1),$$

and in consequence we have

$$(15) \quad \int_{\mathbb{R}} \hat{Z}_n(t)^2 \frac{e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|t|}}{|t|^\gamma} dt = \int_{\mathbb{R}} Z_n^*(t)^2 \frac{e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|t|}}{|t|^\gamma} dt + o_P(1).$$

Finally, applying (12), (14), (15) and the Slutsky Lemma we obtain

$$\begin{aligned} \int_{\mathbb{R}} \hat{Z}_n(t)^2 \frac{e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|t|}}{|t|^\gamma} dt &= \left( \int_{\mathbb{R}} Z_n(t)^2 \frac{e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|t|}}{|t|^\gamma} dt - \int_{\mathbb{R}} Z_n^*(t)^2 \frac{e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|t|}}{|t|^\gamma} dt \right) \\ &+ \left( \int_{\mathbb{R}} Z_n^*(t)^2 \frac{e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|t|}}{|t|^\gamma} dt - \int_{\mathbb{R}} Z_n^*(t)^2 \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^\gamma} dt \right) \\ &+ \int_{\mathbb{R}} Z_n^*(t)^2 \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^\gamma} dt \xrightarrow{d} \int_{\mathbb{R}} Z(t)^2 \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^\gamma} dt, \end{aligned}$$

hence

$$D_{n,\lambda,\gamma} = \hat{\sigma}_n^{1-\gamma} \int_{\mathbb{R}} \hat{Z}_n(t)^2 \frac{e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|t|}}{|t|^\gamma} dt \xrightarrow{d} \int_{\mathbb{R}} Z(t)^2 \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^\gamma} dt = D_{\lambda,\gamma}. \quad \square$$

The covariance kernel of the process  $Z$  determine an integral operator on the space  $L^2(\mathbb{R})$

$$\mathcal{K}: L^2(\mathbb{R}) \ni f \rightarrow \int_{\mathbb{R}} K_\alpha(s,t) f(t) \frac{e^{-\lambda(|s|+|t|)/2}}{(st)^{\gamma/2}} dt \in L^2(\mathbb{R}).$$

Theorem 1(iii) of Buescu ([1]) guarantees that the kernel of this operator has the representation as absolutely and uniformly convergent series

$$(16) \quad K_\alpha(s,t) \frac{e^{-\lambda(|s|+|t|)/2}}{(st)^{\gamma/2}} = \sum_{j=1}^{\infty} \eta_j \phi_j(s) \phi_j(t),$$

where  $\eta_j$  are eigenvalues of the operator  $\mathcal{K}$  ordered nonincreasingly ( $1 \geq 2 \geq \dots \geq 0$ ), and  $\phi_j$  are the corresponding eigenfunctions. Let us define the following stochastic process

$$(17) \quad Y(t) = \sum_{j=1}^{\infty} \sqrt{\eta_j} \phi_j(t) N_j,$$

where  $N_1, N_2, \dots$  is a sequence of independent random variables distributed according to the standard normal law. Since the series (17) is convergent in mean,  $Y$  is centered Gaussian process with the covariance function (16), there is the covariance function of the process

$$Z(t) = \frac{e^{-\lambda|t|/2}}{|t|^{\gamma/2}}.$$

Taking into account orthonormality of the eigenfunctions we obtain

$$D_{\lambda,\gamma} = \int_{\mathbb{R}} Z(t)^2 \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^{\gamma}} dt$$

$$\stackrel{\mathcal{L}}{=} \int_{\mathbb{R}} Y(t)^2 dt = \int_{\mathbb{R}} \left( \sum_{j=1}^{\infty} \sqrt{\eta_j} \phi_j(t) N_j \right)^2 dt = \sum_{j=1}^{\infty} \eta_j N_j^2,$$

where  $\stackrel{\mathcal{L}}{=}$  denote equality of probability laws. Hence the limit distribution of statistics  $D_{n,\lambda,\gamma}$  is the same as the distribution of  $\sum_{j=1}^{\infty} \eta_j N_j^2$ .

#### 4. Consistency

In order to obtain consistent goodness-of-fit test for the Cauchy distribution the following procedure can be applied: first we estimate the parameters and then we compute the test statistics and compare its value with critical value for fixed significance level. In [10] it was showed that estimators  $\hat{\theta}_{n,\alpha}$  cannot be computed if, and only if,  $\#\{k : X_k = m\}/n \geq 2^{\alpha-1}$  for some  $m$ . For Cauchy distributed samples the probability of such event is equal to 0. Thus, in that case the hypothesis  $H_0$  should be rejected.

The following theorem guarantees consistency of the test based on the statistic  $D_{n,\lambda,\gamma}$  against any non Cauchy alternative. Let us stress that this theorem does not impose any restrictions on the alternative distribution. Theorem 2.3. of Gürtler and Henze [5] can be proved analogously. In this way one can obtain consistency of test considered by Gürtler and Henze [5] against any non Cauchy alternative without assumptions on uniqueness of the median and interquartile range.

**Theorem 3.** *Let  $X_1, X_2, \dots$  be a sequence of independent, identically distributed random variables with common characteristic function  $\varphi$ ,  $\hat{m}_n$  and  $\hat{\sigma}_n$  be any earlier considered estimators. Then*

$$(18) \quad \liminf_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} D_{n,\lambda,\gamma} \geq \inf_{(m,\sigma) \in \Theta} \int_{\mathbb{R}} \left| e^{-im/\sigma} \varphi(t/\sigma) - e^{-|t|} \right|^2 \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^{\gamma}} dt$$

with probability 1.

Let us notice that right-handside of (18) is equal to 0 if, and only if,  $\varphi$  is characteristic function of the Cauchy distribution.

**Proof.** For positive constants  $T$  and  $K$  we will denote

$$R_{\sigma,K} := [-T/\sigma, T/\sigma] \cap [-K, K].$$

Using substitution  $s = t/\hat{\sigma}_n$  and applying the Minkowski inequality we estimate as follows

$$\begin{aligned} \frac{1}{n} D_{n,\lambda,\gamma} &\geq \int_{-T}^T \left| \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e^{it(X_j - \hat{m}_n)/\sigma_n} - e^{-|t|} \right| \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^\gamma} dt \\ &= \int_{-T/\hat{\sigma}_n}^{T/\hat{\sigma}_n} \left| e^{-is\hat{m}_n} \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e^{isX_j} - e^{-\hat{\sigma}_n|s|} \right| \frac{\hat{\sigma}_n^{1-\gamma} e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|s|}}{|s|^\gamma} ds \\ &\geq \int_{R_{\hat{\sigma}_n,K}} \left| e^{-is\hat{m}_n} \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e^{isX_j} - e^{-\hat{\sigma}_n|s|} \right| \frac{\hat{\sigma}_n^{1-\gamma} e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|s|}}{|s|^\gamma} ds \\ &\geq \left( \left( \int_{R_{\hat{\sigma}_n,K}} \left| e^{-is\hat{m}_n} \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e^{isX_j} - e^{-\hat{m}_n|s|} \varphi(s) \right| \frac{\hat{\sigma}_n^{1-\gamma} e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|s|}}{|s|^\gamma} ds \right)^{1/2} \right. \\ &\quad \left. \left( \int_{R_{\hat{\sigma}_n,K}} \left| e^{-\hat{m}_n|s|} \varphi(s) - e^{-\hat{\sigma}_n|s|} \right| \frac{\hat{\sigma}_n^{1-\gamma} e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|s|}}{|s|^\gamma} ds \right)^{1/2} \right)^2. \end{aligned}$$

Thus, we obtain

$$(19) \quad \frac{1}{n} D_{n,\lambda,\gamma} \geq \left( \left( \int_{R_{\hat{\sigma}_n,K}} |\varphi_n(s) - \varphi(s)|^2 \frac{\hat{\sigma}_n^{1-\gamma} e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|s|}}{|s|^\gamma} ds \right)^{1/2} \right. \\ \left. \left( \int_{R_{\hat{\sigma}_n,K}} \left| e^{-\hat{m}_n|s|} \varphi(s) - e^{-\hat{\sigma}_n|s|} \right| \frac{\hat{\sigma}_n^{1-\gamma} e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|s|}}{|s|^\gamma} ds \right)^{1/2} \right)^2.$$

The first integral in the last inequality can be estimated in the following way

$$\begin{aligned} &\int_{R_{\hat{\sigma}_n,K}} |\varphi_n(s) - \varphi(s)|^2 \frac{\hat{\sigma}_n^{1-\gamma} e^{-\lambda\hat{\sigma}_n|s|}}{|s|^\gamma} ds \\ &\leq 2 \sup_{s \in R_{\hat{\sigma}_n,K}} |\varphi_n(s) - \varphi(s)| \hat{\sigma}_n^{1-\gamma} \int_0^{\min(T/\hat{\sigma}_n, K)} \frac{1}{|s|^\gamma} ds \\ &\leq \frac{2T^{1-\gamma}}{1-\gamma} \sup_{s \in R_{\hat{\sigma}_n,K}} |\varphi_n(s) - \varphi(s)|. \end{aligned}$$

Since the empirical characteristic function converges uniformly on any compact set with probability 1 to characteristic function (comp. Csörgő [2], Theorem. 2.1) the first integral on the right-handside of (19) converges to 0 with probability 1. Therefore we obtain

$$\begin{aligned} \liminf_{n \rightarrow 0} \frac{1}{n} D_{n,\lambda,\gamma} &\geq \inf_{(m,\sigma) \in \Theta} \int_{R_{\sigma,K}} \left| e^{-ism} \varphi(s) - e^{-\sigma|s|} \right|^2 \frac{\sigma^{-1-\gamma} e^{-\lambda\sigma|s|}}{|s|^\gamma} ds \\ &= \inf_{(m,\sigma) \in \Theta} \int_{[-T,T] \setminus [-\sigma K, \sigma K]} \left| e^{-itm/\sigma} \varphi(t/\sigma) - e^{-|t|} \right|^2 \frac{e^{-\lambda|t|}}{|t|^\gamma} dt. \end{aligned}$$

Letting  $K$  and  $T$  to infinity completes the proof.  $\square$

## 5. Simulation results

In this section we present results of the numerical simulations performed to verify the finite sample behaviour of the new test. Since the results of simulations presented in Gürtler and Henze [5] show the advantage of the test based on the statistic  $D_{n,\lambda,0}$ , with the sample median and half of the interquartile range as estimators over other tests, we compare the behaviour of the new test with the test considered by Gürtler and Henze.

Table 1 presents critical values for four different estimators and different values of parameters  $\gamma$  and  $\lambda$  estimated from 10 000 samples (for  $n = 20$  and  $n = 50$ ) drawn from the standard Cauchy distribution.

Table 2 and 3 present estimated powers of considered test for some alternatives for  $n = 20$  and  $n = 50$ ; respectively. In these tables  $N(0, 1)$  denotes standard normal distribution,  $t_n$  denotes Student distribution with  $n$  degrees of freedom,  $Log(0, 1)$  denotes logistic distribution,  $U(0, 1)$  denotes uniform distribution over the interval  $(0, 1)$ ,  $La(0, 1)$  denotes the standard Laplace distribution,  $\chi_n^2$  denotes chi-square distribution with  $n$  degrees of freedom,  $G$  and  $B$  denotes Gamma and Beta distribution, respectively.

From this tables we draw a conclusion that using  $\gamma > 0$  in the statistic  $D_{n,\lambda,\gamma}$  does not influent significantly on the test, while applying the new estimators  $\hat{\theta}_{n,\alpha}$  considerably improves the power of the test.

Table 1

Critical values on the significance level  $\alpha = 0.1$

		$n = 20$				$n = 50$			
		$\hat{\theta}_M$	$\hat{\theta}_{ML}$	$\hat{\theta}_{.6}$	$\hat{\theta}_{.8}$	$\hat{\theta}_M$	$\hat{\theta}_{ML}$	$\hat{\theta}_{.6}$	$\hat{\theta}_{.8}$
$\gamma = 0$	$\lambda = 1$	1.253	1.102	1.304	1.531	1.330	1.103	1.304	1.521
	$\lambda = 2.5$	0.321	0.292	0.259	0.291	0.352	0.288	0.265	0.298
	$\lambda = 5$	0.116	0.118	0.083	0.081	0.127	0.116	0.083	0.081
$\gamma = 0.1$	$\lambda = 1$	1.264	1.099	1.289	1.488	1.334	1.111	1.282	1.497
	$\lambda = 2$	0.480	0.428	0.411	0.469	0.519	0.424	0.413	0.473
$\gamma = 0.5$	$\lambda = 1$	1.394	1.256	1.300	1.468	1.485	1.246	1.307	1.483

Estimated powers for  $n = 20$  on the significance level  $\alpha = 0.1$

Alternative distribution	$\gamma = 0$											
	$\lambda = 1$				$\lambda = 2.5$				$\lambda = 5$			
	$\hat{\theta}_M$	$\hat{\theta}_{ML}$	$\hat{\theta}_{.6}$	$\hat{\theta}_{.8}$	$\hat{\theta}_M$	$\hat{\theta}_{ML}$	$\hat{\theta}_{.6}$	$\hat{\theta}_{.8}$	$\hat{\theta}_M$	$\hat{\theta}_{ML}$	$\hat{\theta}_{.6}$	$\hat{\theta}_{.8}$
$N(0, 1)$	27	36	50	54	41	28	45	56	49	17	8	6
$t_2$	8	11	17	18	10	7	11	14	12	4	3	2
$t_5$	16	23	34	37	25	16	26	33	30	10	4	3
$t_{10}$	21	28	42	45	33	21	35	44	40	13	6	4
$Log(0, 1)$	19	26	39	42	29	19	32	40	35	12	5	4
$U(0, 1)$	76	83	91	92	87	79	93	96	89	61	46	38
$La(0, 1)$	10	15	21	23	15	10	17	22	18	6	3	3
$\chi_{10}^2$	33	42	56	60	46	34	49	60	51	26	14	10
$G(2, 1)$	48	50	67	70	54	42	57	69	54	38	24	18
$B(2.5, 1.5)$	55	63	76	78	68	57	76	85	72	42	26	20
	$\gamma = 0.1$								$\gamma = 0.5$			
	$\lambda = 1$				$\lambda = 2$				$\lambda = 1$			
	$\hat{\theta}_M$	$\hat{\theta}_{ML}$	$\hat{\theta}_{.6}$	$\hat{\theta}_{.8}$	$\hat{\theta}_M$	$\hat{\theta}_{ML}$	$\hat{\theta}_{.6}$	$\hat{\theta}_{.8}$	$\hat{\theta}_M$	$\hat{\theta}_{ML}$	$\hat{\theta}_{.6}$	$\hat{\theta}_{.8}$
$N(0, 1)$	27	36	50	55	32	32	48	55	38	31	48	57
$t_2$	9	12	16	19	9	8	13	17	10	7	12	15
$t_5$	17	23	33	38	19	19	30	36	22	17	29	36
$t_{10}$	21	29	42	47	25	24	39	46	30	23	39	47
$Log(0, 1)$	19	26	38	42	22	21	35	41	26	20	35	42
$U(0, 1)$	76	84	91	93	81	81	91	94	84	81	93	96
$La(0, 1)$	11	14	21	23	12	11	19	22	14	10	18	22
$\chi_{10}^2$	32	42	55	61	37	38	53	61	42	37	54	64
$G(2, 1)$	51	51	66	72	53	47	66	72	53	45	64	72
$B(2.5, 1.5)$	53	63	76	80	59	59	76	81	64	59	78	85





## References

- [1] Buescu J., *Positive integral operators in unbounded domain*, J. Math. Anal. Appl. **296**, 2004, 244-255.
- [2] Csörgő S., *Multivariate empirical characteristic functions*, Z. Wahrsch. Verw. Gebiete **55**, 1981, 203-229.
- [3] Csörgő S., *Kernel transformed empirical processes*, J. Multivariate Anal. **13**, 1983, 52-72.
- [4] Gradshteyn I.S., Ryzhik I.M., *Table of integrals, series, and products*, Academic Press, New York–London–Toronto 1980.
- [5] Gürtler N., Henze N., *Goodness-of-t tests for the Cauchy distribution based on the empirical characteristic function*, Ann. Inst. Statist. Math. **52**, 2000, 267-286.
- [6] Heathcote C.R., *The integrated squared error estimation of parameters*, Biometrika **64**, 1977, 255-264.
- [7] Henze N., Wagner T., *A new approach to BHEP tests for multivariate normality*, J. Multivariate Anal. **62**, 1997, 1-23.
- [8] Karatzas I., Shreve S., *Brownian motion and stochastic calculus*, Springer, New York 1988.
- [9] Matsui M., Takemura A., *Empirical characteristic function approach to goodness-of-t tests for the Cauchy distribution with parameters estimated by MLE or EISE*, Ann. Inst. Statist. Math. **57**, 2005, 183-199.
- [10] Pudełko J., *Goodness-of-t tests based on empirical characteristic function* (in polish), Ph.D. Thesis, Jagiellonian University, Cracow 2007.
- [11] Thornton J.C., Paulson A.S., *Asymptotic distribution of characteristic function-based estimators for the stable law*, Sanhya **39**, 1977, 341-354.

MAŁGORZATA DURAJ\*

MAGNETYCZNE DIAGRAMY FAZOWE ZWIĄZKÓW  
 $R_{1-x}R'_xMn_2(Ge, Si)_2$ MAGNETIC PHASE DIAGRAMS OF THE  
 $R_{1-x}R'_xMn_2(Ge, Si)_2$  SYSTEM

## Streszczenie

W artykule omówiono klasyczny fenomenologiczny model pola średniego opisujący dwupodsieciowy magnetyk. Podstawowym założeniem modelu jest liniowa zależność stałej wymiany od objętości komórki elementarnej, którego konsekwencją jest występowanie zjawiska magnetostrykcji w przejściach fazowych I rodzaju. W oparciu o dane eksperymentalne układów  $R_{1-x}R'_xMn_2(Ge, Si)_2$ , w tym diagramy fazowe (P,T), oszacowano parametry modelu i przedyskutowano otrzymane wyniki teoretyczne.

*Słowa kluczowe: magnetyczne diagramy fazowe, związki ziem rzadkich*

## Abstract

A phenomenological standard two-sublattice mean-field model was discussed. The Mn-Mn interaction is assumed to be linearly dependent on the unit-cell dimensions, giving rise to magnetostrictive phenomena. The (P,T) magnetic phase diagram for  $R_{1-x}R'_xMn_2(Ge, Si)_2$  series of compounds was discussed and the magnetic phase diagram parameters derived from the experimental data were used for the theoretical calculation.

*Keywords: magnetic phase diagram, rare-earth compounds*

\* Dr inż. Małgorzata Duraj, Instytut Fizyki, Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Badania międzymetalicznych związków ziem rzadkich prowadzone są nie tylko ze względów aplikacyjnych, ale również w aspekcie eksperymentalnym i teoretycznym, gdyż dotyczą takich zagadnień fizyki ciała stałego jak magnetyzm i teoria przejść fazowych. W szczególności bada się w tych związkach przemiany fazowe, ponieważ uzyskane wyniki pozwalają wnioskować o oddziaływaniach magnetycznych podsięci ziemi rzadkiej z podsięcią metali 3d. Szczególnie interesujące są układy typu R-T-X, gdzie R – ziemia rzadka, T – mangan, X – Si, Ge.

Obecność konkurencyjnych oddziaływań typu Mn-Mn, R-R, R-Mn jest przyczyną powstawania, w szerokim zakresie temperatur, skomplikowanych struktur magnetycznych i towarzyszących im magnetycznych przejść fazowych pierwszego i drugiego rodzaju. Pojawiają się tak istotne i ciekawe zjawiska, jak kolinearne i niekolinearne struktury ukośne (spin-canting SC), metamagnetyczne przejścia fazowe (metamagnetic transition MT), zjawisko przerzutu momentów magnetycznych (spin – flop transition SF). Te trzy rodzaje magnetycznych zachowań zostały w schematyczny sposób pokazane na rysunku 1. SC oznacza uporządkowanie momentów magnetycznych w dwupodsięciowym antyferromagnetyku. Momenty magnetyczne podsięci można analizować jako sumę dwóch składowych momentu oddziałujących ferro- i antyferromagnetycznie. Jeżeli występują więcej niż dwie niekolinearne podsięci antyferromagnetyczne tworzące tę strukturę i składowa ferromagnetyczna nie występuje, to zjawisko nazywa się ukrytym SC (hidden spin-canting). Metamagnetyk jest szczególnym przypadkiem uporządkowania, gdy wypadkowe momenty magnetyczne podsięci są antyrównoległe i co bardzo ważne, oddziaływanie antyferromagnetyczne jest w tym przypadku stosunkowo słabe. Wystarczy silne zewnętrzne pole magnetyczne (większe od pola krytycznego  $H_c$ ), aby przerzucić spiny do struktury magnetycznej ferro-, ferrimagnetyka lub słabego ferromagnetyka, zależnej od uporządkowania spinów w stanie antyferromagnetycznym. Przerzut (SF) momentów magnetycznych ma miejsce, gdy zewnętrzne pole magnetyczne przyłożone równoległe do osi łatwej antyferromagnetyka powoduje przerzut momentów magnetycznych na kierunek prostopadły do osi łatwej.

Mimo że te trzy zachowania magnetyków różnią się nawzajem w wielu aspektach, mają jedną wspólną cechę, która pełni niezwykle ważną rolę – jest nią występująca w układzie anizotropia magnetokrystaliczna. Duża anizotropia prowadzi na ogół do dominującego występowania SC i może prowadzić do przejść metamagnetycznych w obecności rywalizujących oddziaływań. Mała anizotropia magnetokrystaliczna sprzyja przejściom typu SF. Równowaga między symetrią krystalograficzną, anizotropią oraz oddziaływaniami między najbliższymi i dalszymi sąsiadami w sieci są odpowiedzialne za obserwowane powyższe zachowania układów magnetycznych.

Szczególnym zainteresowaniem cieszą się związki z manganem typu  $RMn_2X_2$ ,  $R_{1-x}R'_xMn_2X_2$  ( $X=Ge, Si$ ), które krystalizują w tetragonalnej przestrzennie centrowanej strukturze  $ThCr_2Si_2$  (I4/mmm), tworzącej płaszczyzny atomowe prostopadłe do tetragonalnej osi c, ułożone wg sekwencji R – X – T – X – R – X – T – X – R [1]. Ta struktura warstwowa ma istotny wpływ na fizyczne i magnetyczne właściwości tych związków, w szczególności związana jest z bogactwem obserwowanych struktur magnetycznych. Struktury te, zarówno kolinearne jak i niekolinearne, tworzone są przez dwie podsięci magnetyczne: podsięć atomów ziemi rzadkiej R (4f) oraz podsięć atomów metalu prze-

ściowego (3d). To uporządkowanie magnetyczne odpowiada za występowanie w związkach sekwencji magnetycznych przejść fazowych o różnorodnej naturze, indukowanych temperaturą, zewnętrznym ciśnieniem hydrostatycznym, podstawieniami chemicznymi lub polem magnetycznym.

Cechą charakterystyczną powyższych związków jest występowanie długozasięgowego uporządkowania podsieci manganowej, utrzymującego się do stosunkowo wysokich temperatur (300–450)K, niezależnie od tego, jaka jest wartość momentu magnetycznego zlokalizowanego na atomie ziemi rzadkiej i w jaki sposób obydwie podsieci porządkują się w niskich temperaturach. Pomiar neutronograficzny i magnetometryczny tych związków [1–3] określiły strukturę magnetyczną tych układów oraz wartości momentów magnetycznych zlokalizowanych na manganie i ziemi rzadkiej. Wartości całkowitego momentu magnetycznego Mn zawierają się w przedziale (2,40–3,30)  $\mu_B$ . Składowe momentu magnetycznego atomów manganu wyznaczone w temperaturze 2 K wynoszą odpowiednio [1–4]:

- składowa momentu magnetycznego w płaszczyźnie (001)  $\mu_a \approx (2,13\text{--}2,40) \mu_B$ , jej wartość niewiele zmienia się z temperaturą aż do temperatury Néela  $T_N$ ,
- składowa momentu magnetycznego równoległa do osi c jest rzędu  $\mu_z \approx (1,80\text{--}2,14)_B$  i szybko maleje do zera, gdy temperatura zbliża się do temperatury przejścia porządek–nieporządek.

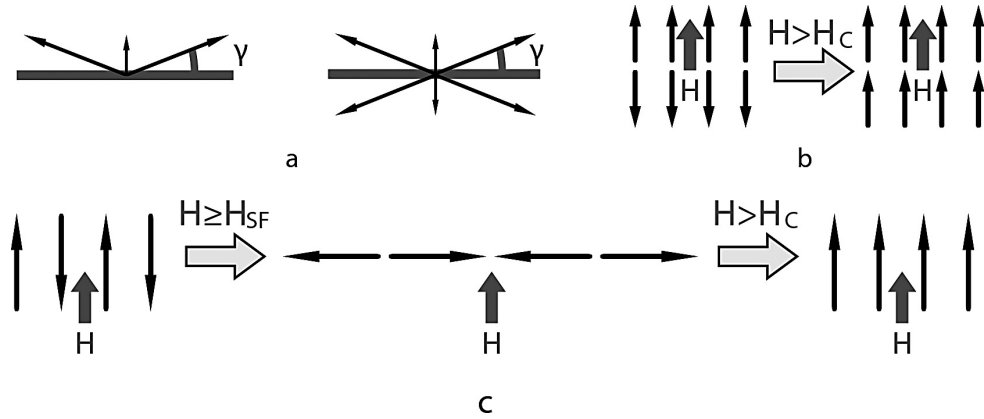
Dotychczasowe badania wskazują [1–5], że występowanie międzyplaszczynowego oddziaływania ferro- lub antyferromagnetycznego w podsieci Mn jest ściśle związane z odległościami międzyatomowymi Mn-Mn w płaszczyźnie (001). Istnieje ścisły związek pomiędzy znakiem oddziaływania międzyplaszczynowego a najmniejszą odległością krytyczną pomiędzy atomami Mn w płaszczyźnie a-a wynoszącą  $R_{\text{Mn-Mn}} = 0,286(5)\text{nm}$ . Jeżeli  $R_{\text{Mn-Mn}} > 0,286(5)\text{nm}$  ( $a > 0,406\text{nm}$ ), to wewnątrzplaszczynowe oddziaływanie w podsieci manganu może mieć charakter ferromagnetyczny lub antyferromagnetyczny, natomiast międzyplaszczynowe oddziaływanie jest ferromagnetyczne. Jeżeli  $0,284\text{nm} < R_{\text{Mn-Mn}} < 0,286\text{nm}$  ( $0,402\text{nm} < a < 0,406\text{nm}$ ), to wewnątrzplaszczynowe oddziaływanie ma charakter antyferromagnetyczny, natomiast stała międzyplaszczynowego oddziaływania wymiennego może zmieniać znak. W związkach występuje wówczas międzyplaszczynowe porządkowanie się momentów magnetycznych zarówno ferro-, jak i antyferromagnetyczne.

Poniżej temperatury 100 K struktura magnetyczna związków staje się bardziej skomplikowana i jest wynikiem porządkowania się zarówno podsieci manganowej, jak i podsieci ziemi rzadkiej. Jeżeli R należy do „lekkich” ziem rzadkich ( $R=\text{La-Nd}$ ), to oddziaływanie R-Mn może mieć charakter ferromagnetyczny, w przypadku „ciężkich” ziem rzadkich ( $R=\text{Gd-Lu}$ ) oddziaływanie podsieci ziemi rzadkiej i podsieci manganu prowadzi do powstawania nieliniarnych struktur antyferromagnetycznych lub ferrimagnetycznych.

W układach  $\text{Sm}_{1-x}\text{R}'_x\text{Mn}_2\text{Ge}_2$  [5], podobnie jak w izostrukuralnych związkach  $\text{R}_{1-x}\text{R}'_x\text{Mn}_2\text{Ge}_2$  [2–4], występują sekwencje faz magnetycznych typu: P – AF2 (AFI) – F2 (Fmc) – AF1 (AFmc) – F1. Rysunek 2 pokazuje schematycznie przykłady powyższych struktur. Uporządkowania typu F2 i AF1 są najczęściej analizowane za pomocą składowych momentu magnetycznego wewnątrzplaszczynowego  $\mu_a$ , w płaszczyźnie atomów Mn oraz międzyplaszczynowego  $\mu_z$  wzdłuż osi c.

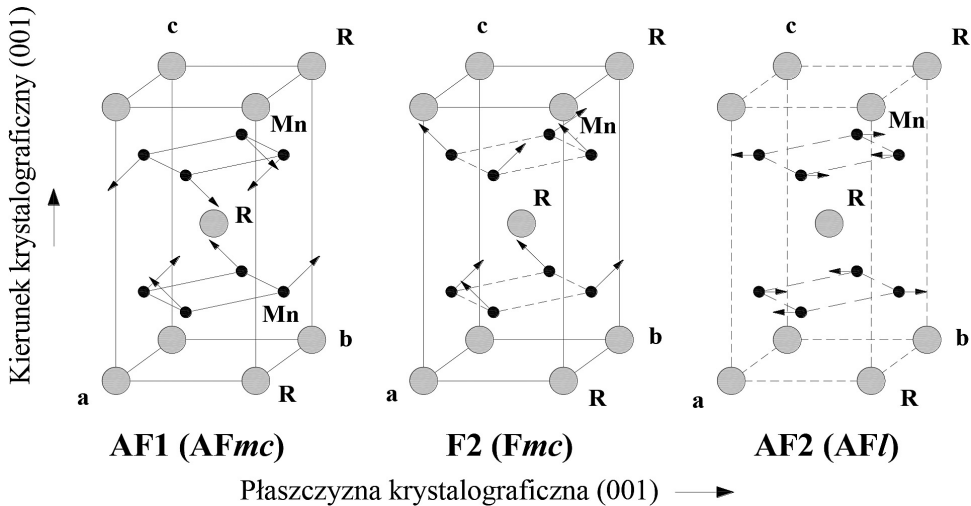
Wyznaczone na podstawie pomiarów rentgenograficznych, w temperaturze pokojowej, parametry sieci krystalicznej dla związku  $\text{SmMn}_2\text{Ge}_2$  wynoszą odpowiednio :  $a = (0,4062 \pm 0,0001) \text{ nm}$ ,  $c = (1,0895 \pm 0,0002) \text{ nm}$ ,  $V = (0,1797 \pm 0,0005) \text{ nm}^3$  [5]. Zatem najmniejsza odle-

głość krytyczna pomiędzy atomami manganu w płaszczyźnie (001) wynosi  $R_{\text{Mn-Mn}} = (0,2872 \pm 0,0001)\text{nm}$ . Oznacza to, że związek ten szczególnie nadaje się do obserwacji magnetycznych przejść fazowych wywoływanych dowolnym czynnikiem wpływającym na zmianę parametrów sieci krystalicznej, np. indukowanych temperaturą, zmianą składu  $x$ , polem magnetycznym czy zewnętrznym ciśnieniem hydrostatycznym.



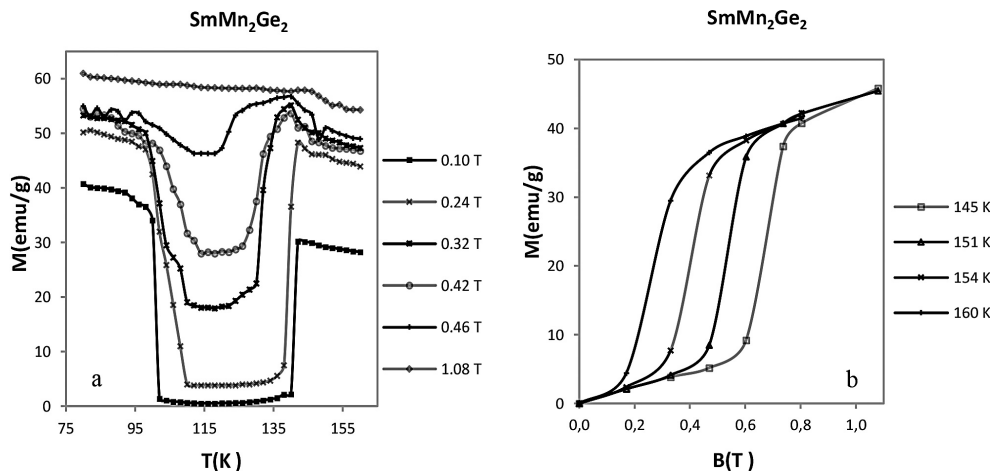
Rys. 1. a) Ilustracja magnetycznej struktury ukośnej (SC), b) zjawisko metamagnetyzmu (MT), c) przerzut spinów (SF)

Fig. 1. a) Sketches of the spin-canting, b) metamagnetism, c) spin-flop phenomena



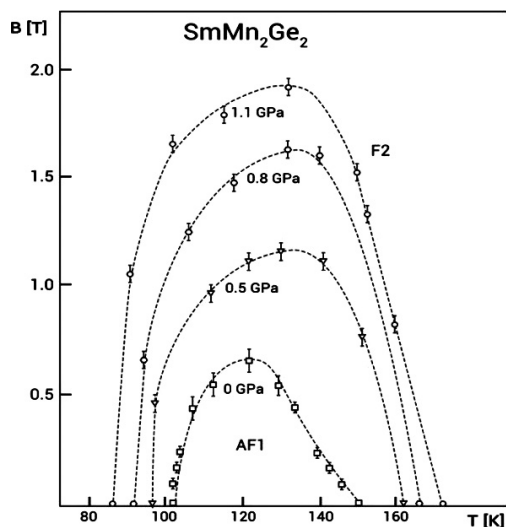
Rys. 2. Magnetyczne typy uporządkowania podsieci Mn występujące w związkach typu  $R_{1-x}R'_x\text{Mn}_2\text{Ge}_2$  wyznaczone na podstawie pomiarów neutronograficznych [1–4]

Fig. 2. The magnetic structures of the Mn sublattice in the  $R_{1-x}R'_x\text{Mn}_2\text{Ge}_2$  compounds from neutron diffraction study [1–4]



Rys. 3. Magnetyczne przejścia fazowe w związku  $\text{SmMn}_2\text{Ge}_2$ : a) Temperaturowa zależność namagnesowania próbki  $\text{SmMn}_2\text{Ge}_2$  w polach magnetycznych z zakresu (0,10 – 1,08) T [5], b) przebiegi namagnesowania próbki w funkcji pola magnetycznego B w różnych temperaturach z zakresu (145 – 160) K [5]

Fig. 3. Magnetic phase transitions for  $\text{SmMn}_2\text{Ge}_2$ : a) Temperature dependence of the magnetization of  $\text{SmMn}_2\text{Ge}_2$  compound measured for a field change of (0.10 – 1.08) T [5], b) Field dependence of magnetization in the temperature range (145 – 160) K [5]



Rys. 4. Magnetyczny diagram fazowy (B,T) związku  $\text{SmMn}_2\text{Ge}_2$  wyznaczony w warunkach ciśnienia hydrostatycznego  $P=0,0.5, 0.8, 1.1$  GPa w obszarze przejść fazowych F1-AF1-F2

Fig. 4. (B,T) magnetic phase diagram for  $\text{SmMn}_2\text{Ge}_2$  for different hydrostatic pressure  $P=0,0.5, 0.8, 1.1$  GPa for  $\text{SmMn}_2\text{Ge}_2$  compound at the vicinity of the F1-AF1-F2 magnetic phase transitions

Poniżej temperatury Nêela  $T_N$  ( $\sim 400$  K) w  $\text{SmMn}_2\text{Ge}_2$  występuje antyferromagnetyczna kolinearna struktura typu AF2, a moment magnetyczny Mn ma tylko antyferromagnetyczną składową w płaszczyźnie (001). Wraz z obniżaniem się temperatury ( $T_c \sim 300$  K) pojawia się uporządkowanie F2 – ferromagnetyczna struktura ukośna typu „canted” (SC). Moment magnetyczny atomu manganu ma w tej fazie dwie składowe: ferromagnetyczną  $\mu_z$  wzdłuż kierunku [001] oraz składową antyferromagnetyczną  $\mu_a$  płaszczyźnie (001) Mn. Jeżeli odległość Mn-Mn w płaszczyźnie (001) bliska jest wartości krytycznej 0,286(5) nm, to wówczas w związku w temperaturze  $T_2$  ( $\approx 150$ K) obserwuje się przejście fazowe typu AF1-F2. Przejście to może być wywoływane każdym czynnikiem wpływającym na zmianę parametrów sieci krystalicznej. Faza typu AF1 występuje w zakresie temperatur  $T_1 \approx 100\text{K} < T < T_2 \approx 150\text{K}$ . W tej fazie obydwie składowe momentu magnetycznego atomu manganu: wzdłuż kierunku [001] oraz płaszczyźnie (001) są uporządkowane antyferromagnetycznie.

Przykładowe magnetyczne przejścia fazowe indukowane temperaturą i zewnętrznym polem magnetycznym obserwowane eksperymentalnie w związku  $\text{SmMn}_2\text{Ge}_2$  ilustruje rysunek 3 [5]. Rysunek 4 przedstawia wartości pól krytycznych  $B_k$  dla przejść z fazy antyferro- do ferromagnetycznej w funkcji temperatury i zewnętrznego ciśnienia hydrostatycznego.

## 2. Model

Klasyczny fenomenologiczny model pola średniego, opisany m.in. w pracach [6–8] był wykorzystywany do dyskusji magnetycznych diagramów fazowych (P,T) układów  $R_{1-x}R'_x\text{Mn}_2(\text{Ge},\text{Si})_2$  w pracach [9, 10]. Zgodnie z tym modelem temperaturowe własności podsieci manganu i występującą sekwencję faz magnetycznych można analizować zakładając, że struktura magnetyczna podsieci Mn może być traktowana jako dwie podsieci o identycznych momentach magnetycznych  $\vec{\mu}_1$  i  $\vec{\mu}_2$ . Kąt, jaki tworzą momenty magnetyczne z tetragonalną osią c, ma wartość  $\theta$ , a wartość kąta, jaki tworzą odpowiednio momenty magnetyczne obu podsieci, wynosi  $2\theta$  (*canting angle*). Całkowity moment magnetyczny podsieci manganowej  $\vec{m} = \vec{\mu}_1 + \vec{\mu}_2$  jest prostopadły do wektora antyferromagnetycznego  $\vec{l} = \vec{\mu}_1 - \vec{\mu}_2$ . Ogólna postać oddziaływania wymiany określona jest równaniem [8]:

$$\Phi_e = \Phi_0 + \frac{A}{2}l^2 + \frac{B}{2}m^2 + \frac{a}{2}(l_x^2 + l_y^2) + \frac{b}{2}(m_x^2 + m_y^2) + \sum_i \frac{C_i}{4}l_i^4 + \frac{C'}{4}m^4 + \sum_i \frac{D_i}{2}(l_i m_i)^2 + \sum_i \frac{D'_i}{2}l_i^2 m_i^2 \quad (1)$$

Wzór (1) może opisywać przypadek ferromagnetyka ( $\vec{l} = 0$ ) lub antyferromagnetyka ( $\vec{m} = 0$ ). Przypadek  $\vec{l} = 0$  i  $\vec{m} = 0$  oznacza, że próbka znajduje się powyżej punktu przejścia porządek–nieporządek. Model zakłada, że współczynniki opisujące w potencjale termodynamicznym oddziaływanie wymienne są funkcjami temperatury, a tym samym funkcjami parametrów sieci krystalicznej. Założenie to wynika z modelu Kittela zakładającego inwersję oddziaływań wymiennych. Idea ta pokazuje, że przyczyną przemian metamagnetycznych jest zmiana znaku współczynnika oddziaływań wymiennych, który decyduje o charakterze sprzężeń pomiędzy podsieciami. Zmiana energii wymiany sprzęgającej ze sobą momenty magnetyczne wywołuje skokową zmianę objętości sieci zachodzącą w chwili przejścia po-



między dwiema fazami magnetycznymi. Założenie o liniowej zależności stałej wymiany od parametrów sieci krystalicznej wystarczy, by w modelowym opisie dwupodsieciowego magnetyka występowało w punkcie przemiany magnetycznej przejście fazowe I rodzaju. Metamagnetyczne przejścia typu porządek–porządek w modelu fenomenologicznym można opisywać za pomocą parametrów Beana-Rodbella, gdzie współczynniki rozwinięcia potencjału opisującego energię wymiany mogą być liniowymi funkcjami objętości komórki elementarnej (temperatury). Jest to szczególnie uzasadnione w przypadku pomiarów magnetycznych prowadzonych w warunkach ciśnienia hydrostatycznego.

Celem teorii Beana-Rodbella było przede wszystkim zbadanie, czy i kiedy przejścia ze stanu ferromagnetycznego do stanu paramagnetycznego mogą być przemianami pierwszego rodzaju. Jak pokazano w pracy [7], podstawowe założenie Beana-Rodbella jest równoważne założeniu Kittela. Zgodnie z tym założeniem w dwupodsieciowym materiale uporządkowanym magnetycznie stałe oddziaływań wymiennych, wewnątrzpodsieciowa  $I_1$  i międzypodsieciowa  $I_2$ , zmieniają się liniowo wraz ze zmianą objętości  $V$ . Międzypodsieciowa stała oddziaływań wymiennych  $I_2$  zmienia znak w punkcie inwersji. Stałe oddziaływań  $I_1, I_2$  zapisano jako [7]:

$$I_1 = k_B T_0 \left[ 1 - \beta \frac{V - V_0}{V_0} \right] \quad (2)$$

$$I_2 = k_B T_0 \left[ -R + n\beta \frac{V - V_0}{V_0} \right] \quad (3)$$

gdzie:  $k_B$  – stała Boltzmana,  $V_0$  i  $T_0$  są wartościami równowagowymi przy braku magnetostrykcji,  $\beta, R, n$  są parametrami teorii, które charakteryzują zależności  $I_{1,2}(V)$ .

W obecności zewnętrznego pola magnetycznego ( $B \neq 0$ ), potencjał dwupodsieciowego magnetyka (liczony dla jednostki objętości magnetyka) ma postać:

$$\Phi = \Phi_e + \Phi_d + \Phi_s + \Phi_p + \Phi_b \quad (4)$$

gdzie  $\Phi_e$  jest energią oddziaływań wymiennych,  $\Phi_d$  opisuje energię sprężystą sieci krystalicznej,  $\Phi_s = -T(S_j + S)$  – człon związany z entropią układu spinów i entropią sieci krystalicznej,  $\Phi_p$  – energia kryształu związaną z zewnętrznym ciśnieniem hydrostatycznym,  $\Phi_b$  – energia kryształu związaną z zewnętrznym polem magnetycznym. Potencjał termodynamiczny układu jest funkcją namagnesowania względnego  $y = \sigma/\sigma_0$ , którego człony anizotropowe związane z anizotropią oddziaływań wymiennych i anizotropią struktury krystalograficznej są co najmniej o rząd wielkości mniejsze od członów izotropowych.

W pracach [9, 10] omówiono potencjał (4) w przybliżeniu  $B \approx 0$ . Analizowano warunki stabilności poszczególnych faz magnetycznych oraz równania granic fazowych przejść porządek–porządek we współrzędnych (P,T).

W niniejszym artykule uwzględniono w potencjale termodynamicznym  $\Phi$  energię zewnętrznego pola magnetycznego  $B \neq 0$ . Pozwoli to na wyznaczenie teoretycznej zależności namagnesowania  $y(T/T_0)$  w funkcji temperatury, pola magnetycznego i ciśnienia oraz na wyznaczenie granic fazowych przejść porządek–porządek (B,T,P) w obecności zewnętrznego ciśnienia hydrostatycznego. Potencjał (4) przyjmuje następującą postać:

$$\Phi = -I_0 \left( 1 - \beta \frac{\Delta V}{V_0} \right) y^2 - I_0 \left( -R + n\beta \frac{\Delta V}{V_0} \right) y^2 \cos 2\theta + (C^* + K^* \sin^2 2\theta) y^4 + \quad (5)$$

$$+ \frac{1}{2\kappa} \left( \frac{\Delta V}{V_0} \right)^2 - T(S_j + S_i) + P \frac{\Delta V}{V_0} - 2\sigma_0 B y \cos \theta$$

gdzie:

$$I_0 = \frac{3}{2} \frac{j}{j+1} N k_B T_0 \quad (6)$$

$N$  – koncentracja atomów magnetycznych,  $2\theta$  – kąt między momentami magnetycznymi podsięci,  $C^*$ ,  $K^*$  – parametry modelu,  $\kappa$  – ściśliwość izotermiczna,  $S_i = c_v \ln T + a(V - V_0)$  – entropia sieci krystalicznej,  $c_v$  – ciepło właściwe przy stałej objętości,  $a$  – współczynnik rozszerzalności termicznej.

Warunki minimum potencjału termodynamicznego wyznaczają wartości równowagowe objętości  $V$ , namagnesowania względnego  $y$  i kąta  $\theta$ . Objętość w stanie równowagi termodynamicznej wynika z warunku  $\partial\Phi/\partial V = 0$ , który pozwala określić wielkość magnetostrykcji spontanicznej:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = I_0 \beta \kappa y^2 (n \cos 2\theta - 1) - P \kappa + T \alpha \quad (7)$$

Zależność namagnesowania  $y(T/T_0)$  od temperatury w warunkach ciśnienia hydrostatycznego i w obecności zewnętrznego pola magnetycznego  $B$  jest konsekwencją równania  $\partial\Phi/\partial y = 0$ , po uwzględnieniu równowagowej względnej zmiany objętości (7):

$$\frac{T}{T_0} = \frac{(1 - R \cos 2\theta) + (n \cos 2\theta - 1) P \kappa \beta + \left[ \eta (n \cos 2\theta - 1)^2 - (2C^* / I_0) (\sin^4 \theta + \cos^4 \theta) \right] y^2}{\left( \frac{\text{arth}(y)}{y} \right) - (n \cos 2\theta - 1) \alpha \beta T_0} + \quad (8)$$

$$+ \frac{\left[ -(2D^* / I_0) \sin^2 2\theta \right] y^2 + \frac{\sigma_0 B}{I_0 y} \cos \theta}{\left( \frac{\text{arth}(y)}{y} \right) - (n \cos 2\theta - 1) \alpha \beta T_0}$$

gdzie:

$$\eta = I_0 \kappa \beta^2 = \frac{3}{3} \frac{j}{j+1} N k_B T_0 \kappa \beta^2 \quad (9)$$

jest parametrem modelu, który opisuje charakter przejścia porządek–nieporządek (przejście ciągłe lub nieciągłe).

Aby uzyskać kryteria, jakie powinny być spełnione, aby przejście fazowe opisane równaniem (8) było pierwszego (lub drugiego) rodzaju, należy analizować warunek  $\partial(T/T_0)/\partial y$  w pobliżu przejścia fazowego dla  $y \ll 1$ . Aby przejście było przejściem ciągłym, musi być spełniona nierówność  $\partial(T/T_0)/\partial y > 0$ , natomiast dla przejścia nieciągłego  $\partial(T/T_0)/\partial y < 0$ . Szczegółowa dyskusja tych warunków dla przejść fazowych porządek–nieporządek w  $T_C$  i  $T_N$  została przeprowadzona w pracach [7, 8].

Równania  $\partial\Phi/\partial\theta = 0$  i  $\partial\Phi/\partial V = 0$  pozwalają otrzymać równowagowe wartości kąta  $2\theta$ :

$$\left\{ \left[ -R - m\eta y^2 + n(\alpha\beta T - P\kappa\beta) + (K_0 + n^2\eta)y^2 \cos 2\theta \right] y \cos \theta + \sigma_0 B \right\} \sin \theta = 0 \quad (10)$$

gdzie  $K_0 = (2D^* - C^*)/I_0$  jest parametrem związanym jest z anizotropią oddziaływań w kryształach. Z równania (10) wynika, że uporządkowanie między podsieciami może być ferromagnetyczne ( $\theta = 0$ ), lub ukośne (typu „canted”). Model przewiduje istnienie fazy, w której kąt między momentami magnetycznymi podsieci ma wartość  $2\theta$  określoną równaniem:

$$\left[ -R - m\eta y^2 + n(\alpha\beta T - P\kappa\beta) + (K_0 + n^2\eta)y^2 \cos 2\theta \right] y \cos \theta + \sigma_0 B = 0 \quad (11)$$

Międzypodsieciowy kąt  $2\theta$  zależy od zewnętrznego ciśnienia  $P$ , temperatury  $T$  i pola magnetycznego  $B$ . W nieobecności pola magnetycznego możliwe są rozwiązania kolinearne dające fazę ferro- i antyferromagnetyczną. Rozwiązanie niekolinarne (CA) określone jest równaniem:

$$\cos 2\theta = \frac{R + m\eta y^2 + n(P\kappa\beta - \alpha\beta T)}{(K_0 + n^2\eta)y^2} \quad (12)$$

W pracy [10] pokazano, że w przybliżeniu  $B \approx 0$  otrzymujemy jakościową zgodność powyższego modelu i wyników doświadczalnych. Wyniki eksperymentalne, oparte na badaniach neutronograficznych dla układów  $R_{1-x}R'_xMn_2(Ge,Si)_2$ , wskazywały na liniową zależność wartości kąta  $\theta$  (wartości składowej ferromagnetycznej momentu magnetycznego manganu  $\mu_z$ ) od odległości międzyatomowych w podsieci Mn-Mn.

Warunki stabilności poszczególnych faz magnetycznych oraz równania granic fazowych przejść porządek–porządek daje szczegółowa analiza warunków dostatecznych istnienia minimum potencjału termodynamicznego względem  $V$ ,  $y$  i  $\theta$ . Warunki te były omawiane w pracach [5, 8, 9].

Równania granic fazowych dla przejść antyferro-ferromagnetyk w polu magnetycznym  $B$  i w warunkach zewnętrznego ciśnienia hydrostatycznego daje analiza równania  $\partial^2\Phi/\partial\theta^2 = 0$  [8]:

$$-\left[ R + m\eta y^2 + n(P\kappa\beta - \alpha\beta T) \right] y^2 \cos 2\theta + (K_0 + n^2\eta)y^4 \cos 4\theta + \sigma_0 B y \cos \theta / 4I_0 = 0 \quad (13)$$

W pobliżu przejścia fazowego namagnesowanie w danej fazie  $y_{F,AF} = \sigma/\sigma_0$  jest funkcją temperatury  $T$ , pola magnetycznego  $B$  i ciśnienia  $P$ . Granice fazowe uzyskuje się po rozwiązaniu samouzgodnionego układu równań (8) i (13).

### 3. Dyskusja magnetycznych diagramów fazowych

Wyniki eksperymentalne uzyskane dla związków  $R_{1-x}R'_xMn_2Ge_2$  [5], w szczególności znajomość magnetycznych diagramów fazowych ( $P, T$ ) i ( $x, T$ ), pozwoliły oszacować szereg parametrów modelu.

Analiza diagramu ( $P, T$ ) związku  $SmMn_2Ge_2$  pokazuje, że powyżej ciśnienia krytycznego  $P_{kr} \cong (1,00 \pm 0,01)$  GPa i temperatury krytycznej  $T_k \cong (330 \pm 2)$  K, obserwuje się zanikanie fazy ferromagnetycznej. W pracach [5, 10] dyskutowano wyniki pomiarów ciśnieniowych

izostrukturalnych związków  $R_{1-x}R'_xMn_2Ge_2$ . Otrzymane eksperymentalnie diagramy (P,T) i (x,T) wykazują jakościowe podobieństwo. Obserwowane wartości temperatur krytycznych  $T_k$  punktów potrójnych diagramów (P,T) niewiele zmieniają się ze składem, natomiast zależność ciśnienia krytycznego  $P_{kr}$  zależy liniowo od odległości międzyatomowych w podsieci manganu. Wykonana na tej podstawie analiza zależności przyłożonego ciśnienia krytycznego (przy którym zanika uporządkowanie ferromagnetyczne) w funkcji objętości komórki elementarnej dana jest zależnością [10]:

$$\Delta V = -3,81 \cdot 10^{-3} \left[ \frac{nm^{-3}}{GPa} \right] \cdot P [GPa] \quad (14)$$

gdzie:  $V_0 = 0,175(8) \text{ (nm}^3\text{)}$  – jest objętością komórki elementarnej przy braku ciśnienia hydrostatycznego. Zatem względna zmiana objętości wynosi:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = -2,16 \cdot 10^{-3} \left[ \frac{1}{GPa} \right] \cdot P [GPa] \quad (15)$$

Powyższe oszacowania są niezbędne do analizy modelu fenomenologicznego. Pozwalają porównywać magnetyczne diagramy fazowe (P,T) oraz (x,T) i tym samym badać wpływ zmian parametrów sieci krystalicznej na oddziaływania magnetyczne.

W pracach [5, 9, 10] były dyskutowane szczegółowo granice fazowe dla przejść w temperaturach  $T_C$  i  $T_N$  oraz przejść porządek–porządek AF1-F2 w temperaturze  $T_2$ . Eksperymentalne diagramy fazowe (P,T, x) uzyskano na podstawie przebiegów podatności zmienoprądowej, a zatem w przybliżeniu  $B \approx 0$  dla granicy porządek-nieporządek otrzymujemy z równania (8):

$$\frac{T_N}{T_0} = \frac{(1+R) - (n+1)P\kappa\beta}{(n+1)\alpha\beta T_0} \quad (16)$$

i równocześnie:

$$\frac{dT_N}{dP} = -T_{0N} \cdot \beta_{AF} \cdot \frac{d}{dP} \left( \frac{V - V_0}{V_0} \right) = T_{0N} \cdot \beta_{AF} \cdot \underbrace{\frac{1}{V_0} \frac{dV}{dP}}_{\kappa} = -\beta_{AF} \cdot \kappa \cdot T_{0N} \quad (17)$$

Zgodnie z obserwowanymi wynikami eksperymentalnymi [5] zmniejszanie objętości komórki elementarnej (wzrost ciśnienia hydrostatycznego) powoduje wzrost oddziaływania antyferromagnetycznego w próbce. Znajomość eksperymentalnej zależności  $T_N(P)$  oraz współczynnika nachylenia  $dT_C/dP = 18 \pm 3 \text{ (K/GPa)}$  pozwoliła oszacować parametry modelu:  $T_{0N} = 312 \text{ K}$ ,  $\beta_{AF} = 2,67$ . Analogiczna analiza dla granicy fazowej  $T_C(P)$  daje:  $T_{0C} = 341 \text{ K}$ ,  $\beta_F = 1,49$ .

Porównanie stałych  $\beta_F/\beta_{AF} \cong 0,56$  potwierdza również fakt eksperymentalny, że oddziaływanie antyferromagnetyczne w płaszczyźnie (001) manganu jest znacznie większe od międzypłaszczyznowego sprzężenia ferromagnetycznego pomiędzy płaszczyznami [4].

Zgodnie z wyznaczonymi z modelu fenomenologicznego kryteriami określającymi charakter przejścia fazowego, w  $T_C$  i  $T_N$  muszą być spełnione następujące nierówności [7, 8]:

$$\eta > \eta^* \text{ dla przejść I rodzaju,} \quad (18)$$

$$\eta < \eta^* \text{ dla przejść II rodzaju} \quad (19)$$

gdzie:

$$\eta_i = \frac{3}{3j+1} N \kappa T_0 k_B \beta_i^2 \quad (20)$$

$$\eta_i^* = 1 + P \kappa \beta_i \quad (21)$$

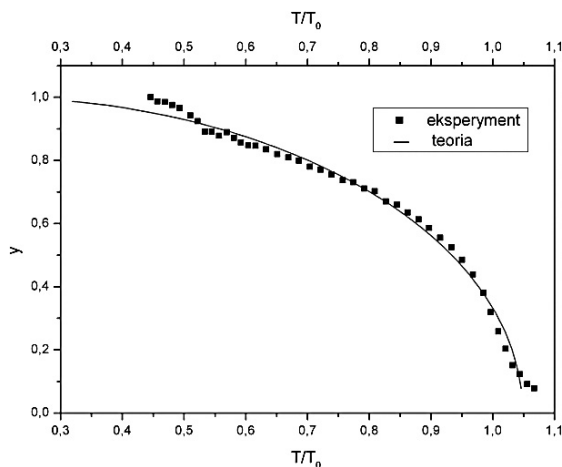
dla  $i=AF, F$ . Jeżeli uwzględnimy wartość koncentracji atomów manganu w jednostce objętości  $N = 2,23 \cdot 10^{28}$  ( $\text{m}^{-3}$ ) wyznaczoną dla związku  $\text{SmMn}_2\text{Ge}_2$  oraz wyznaczone wcześniej parametry modelu  $T_{0C}$ ,  $T_{0N}$ ,  $\beta_F$  i  $\beta_{AF}$ , to wartość  $\eta_{AF}$  dla przejścia fazowego jest rzędu  $0,6 \cdot 10^{-5}$  natomiast  $\eta^* = 1,015$ . Wartość  $\eta_F$  jest rzędu  $0,2 \cdot 10^{-5}$ ,  $\eta^* = 1,008$ . Oznacza to spełnienie kryterium (19), a zatem w temperaturach  $T_C, T_N$ , zgodnie z modelem, powinniśmy obserwować przejścia fazowe II rodzaju.

Na podstawie równań (7) i (8) można wyznaczyć teoretyczną wartość skoku objętości próbki w temperaturze przejścia porządek-porządek (AF1 - F2):

$$\frac{V_F - V_{AF}}{V_{AF}} = I_0 \kappa \left[ \beta_F y_F^2 (n-1) + \beta_{AF} y_{AF}^2 (n+1) \right] \quad (22)$$

Wartość względnej zmiany objętości towarzyszącej przemianie metamagnetycznej w przejściu AF1- F2 dla próbki  $\text{SmMn}_2\text{Ge}$  została wyznaczona eksperymentalnie z pomiarów rentgenograficznych i wynosi 0,3% [5]. Znajomość tych danych eksperymentalnych oraz równań (8) i (22) również umożliwia wyznaczanie kolejnych parametrów modelu.

Powyższa analiza dała możliwość porównania eksperymentalnych zależności namagnesowania próbki  $\text{SmMn}_2\text{Ge}_2$  w zakresie temperatur (100–341) K i polu  $B=1,2$  T z przebiegiem teoretycznym uzyskanym z równania (8). Wyniki przedstawia rysunek 5.



Rys. 5. Wyznaczony z modelu przebieg namagnesowania w funkcji temperatury  $y(T/T_0)$  oraz punkty eksperymentalne dla próbki  $\text{SmMn}_2\text{Ge}_2$ . Parametry modelu:  $T_0 = T_{0C} = 341$  K,  $\beta_F = 1,49$ ,  $R = 1,1 \cdot 10^{-2}$ ,  $K_0 = (4,0-9,0) \cdot 10^{-5}$ ,  $B = 1,2$  T,  $P = 0$  GPa

Fig. 5. Calculated magnetization  $y(T/T_0)$  and experimental data points for  $\text{SmMn}_2\text{Ge}_2$  compound. The values of parameters:  $T_0 = T_{0C} = 341$  K,  $\beta_F = 1,49$ ,  $R = 1,1 \cdot 10^{-2}$ ,  $K_0 = (4,0-9,0) \cdot 10^{-5}$ ,  $B = 1,2$  T,  $P = 0$  GPa

#### 4. Wnioski

W pracach [9–12] omawiano własności magnetyczne związków  $R_{1-x}R'_xMn_2(Ge,Si)_2$ , w szczególności przedstawiono zastosowanie modelu fenomenologicznego w przybliżeniu  $B \approx 0$  do analizy wyników eksperymentalnych. Dyskutowano jakościowo przebiegi granic fazowych porządek–porządek diagramu fazowego (P,T) oraz wpływ ciśnienia hydrostatycznego (zmian objętości komórki elementarnej) na wartość międzypodsieciowego kąta  $2\theta$  w podsieci manganu.

Niniejszy artykuł jest kontynuacją powyższych prac. Przedstawiony w pracy model uwzględnia w potencjale termodynamicznym człon zeemanowski i jego konsekwencje: teoretyczną zależność namagnesowania w funkcji temperatury, pola magnetycznego i ciśnienia oraz równania granic fazowych przejść I i II rodzaju.

Wyznaczona na podstawie danych eksperymentalnych wartość zmian objętości komórki elementarnej  $\Delta V$  równoważna przyłożonemu zewnętrznemu ciśnieniu hydrostatycznemu  $P$  była podstawą do szacowania parametrów modelu fenomenologicznego, które pozwalają, w ograniczonym zakresie temperatur (100–350)K, ciśnień hydrostatycznych (0–1,5) GPa i pól magnetycznych (0–1,2)T opisywać sekwencję faz magnetycznych występujących w podsieci manganu. Wyniki te są podstawą do dalszej analizy modelu. Analiza równań granic fazowych porządek–nieporządek dla przejść typu: antyferromagnetyk–paramagnetyk (AF2 – P) i ferromagnetyk–paramagnetyk (F2 – P) przy warunku  $y \rightarrow 0$  oraz granic fazowych porządek–porządek dla przejść typu: antyferromagnetyk–ferromagnetyk (AF1 – F2) pozwala szacować parametry modelu. Uzyskano zgodność eksperymentalnej i teoretycznej zależności namagnesowania  $y(T/T_0)$  w funkcji temperatury dla określonych wartości pola magnetycznego i zewnętrznego ciśnienia hydrostatycznego (dla kąta  $2\theta = 0$  otrzymujemy przebiegi namagnesowania w funkcji temperatury w fazie ferromagnetycznej dla określonego pola  $B$  i zewnętrznego ciśnienia  $P$ ). Model daje jakościową zgodność z obserwowanym eksperymentalnie diagramem (rys.4), ale wymaga dokładnej analizy numerycznej granic fazowych ( $B$ ,  $T$ ,  $P$ ).

#### Literatura

- [1] Szytuła A., In: K.H.J. Bushow (Eds.), *Handbook of Magnetic Materials*, vol. 6, Elsevier, Amsterdam 1991.
- [2] Venturini G., Welter R., Ressouche E., Malaman B., *Neutron diffraction study of the ferromagnetic to antiferromagnetic transition in  $La_{0.3}Y_{0.7}Mn_2Ge_2$  phenomenological description of the magnetic behaviour of Mn in  $ThCr_2Si_2$  silicides and germanides*, J. Alloys Comp., 223, 1995, 101.
- [3] Durman E., Acet M., Dincer I., Elmali A., Elerman Y., *Competing magnetic interactions in rare-earth manganese silicides and germanides*, J. Magn. Magn. Mater., 309, 2007, 40-53.
- [4] Dincer I., Elerman Y., Elmali A. et al., *Neutron diffraction study of the  $La_{1-x}Pr_xMn_2Si_2$  ( $x=0.4, 0.7$  and  $1$ ) compounds and the general description of the magnetic behavior of Mn in  $RMn_2Ge_2$  and  $RMn_2Si_2$* , J. Magn. Magn. Mater., 313, 2007, 342.
- [5] Duraj M., *Własności magnetyczne związków  $Sm_{1-x}R_xMn_2Ge_2$  ( $R=Y, Nd, Gd$ )*, Monografia 213, Politechnika Krakowska, Kraków 1997.

- [6] Cofta H., *Metamagnetyki*, PWN, Warszawa 1971.
- [7] Kuźmin E.W., Pietrakovski G.A., Zawadzki G.A., *Fizika magnitoporiadocziennych wieszczestv*, Novosibirsk 1976.
- [8] Zawadzki G.A., Walkov I., *Magnitnije fazowyje pieriechody*, Kijev 1980.
- [9] Duraj M., Szytuła A., *Non-collinear magnetic structures under pressure*, Phys. Stat. Sol.(b) 236. No.2, 2003, 470-473.
- [10] Duraj M., Szytuła A., *Magnetic properties of  $R_{1-x}R'_xMn_2(Si,Ge)_2$  ( $R, R' = \text{rare earth}$ ) compounds*, J. Alloys Comp. 442, 2007, 108-110.
- [11] Duraj M., Szytuła A., *Magnetic properties and magnetic entropy change in ternary rare earth intermetallics*, The European Conference Physics of Magnetism 2008, Poznań 2008.
- [12] Duraj M., Szytuła A., *Własności magnetyczne i efekt magnetokaloryczny w związkach  $R_{1-x}R'_xMn_2Ge_2$* , Czasopismo Techniczne, 1-NP/2010, Wydawnictwo PK, Kraków 2010.





NATALIA NOSIDLAK, JANUSZ JAGLARZ\*

## ANALIZA KOLORYMETRYCZNA SKŁADU FARB AKRYLOWYCH PRZY UŻYCIU KULI INTEGRUJĄCEJ

---

### COLORIMETRIC ANALYSIS OF ACRYLIC PAINTS COMPOSITION USING AN INTEGRATING SPHERE

#### Streszczenie

W artykule przedstawiono metodykę wyznaczania barw farb akrylowych na podstawie znanych wartości procentowych stosowanych do ich utworzenia pigmentów. Wykazano że dla farb, w których stosowany jest jeden rodzaj pigmentu barwiącego, można, ze znajomości parametrów barwy wyrażonej w jednostkach systemu  $L^*a^*b$ , wyznaczyć udział procentowy stosowanego pigmentu. Wykazaliśmy również, że system  $L^*a^*b$  jest szczególnie przydatny do oceny różnic odwzorowań barw uzyskanych ze zdjęć fotograficznych oraz z wydruków.

*Słowa kluczowe: parametry kolorymetryczne, spektrofotometria, farby akrylowe*

#### Abstract

In this paper we presented the methodology of color determination of the acrylic paint basing on the known values of amount pigments used to color creation. In the work we present possibility of pigment amount determination for paints in whose one type of dye is used from the knowledge of color parameters expressed in units of  $L^*a^*b$  system. Also we show the system  $L^*a^*b$  is particularly useful to evaluate the differences of color maps derived from photographs and prints.

*Keywords: colorimetric parameters, spectrophotometry, acrylic paints*

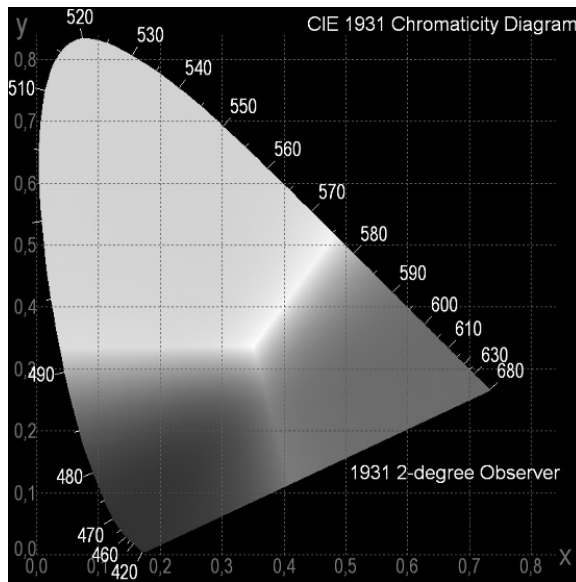
---

\* Mgr inż. Natalia Nosidlak, dr Janusz Jaglarz, Instytut Fizyki, Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Barwa jest jednym z najważniejszych parametrów charakteryzujących farby i lakiery. Farby o określonej barwności muszą być zmierzone i skatalogowane według ustalonych norm. Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) od roku 1931 proponuje różne sposoby określania barwności [1]. Oparte są one o zdefiniowane źródła normalne A, B, C. Wprowadzone zostało również pojęcie obserwatora normalnego oraz opisany został sposób obserwacji powierzchni odbijającej [2]. Systemy CIE oparte były od lat 70. o znormalizowane wykresy chromatyczności zwane trójkątami barw. Określały one w sposób ścisły chromatyczność, ale nie zawierały pełnej palety barw.

Najłatwiej obliczyć parametry barwne badanej próbki w systemie XYZ [3]. System ten jest jednak niewygodny w użyciu, ponieważ barwy są prezentowane w postaci trójkąta barw.



Rys. 1. Wykres chromatyczności układu XYZ 1931 [4]

Fig. 1 Chromacity graph of XYZ 1931 system [4]

Składowe trójkromatyczne XYZ można obliczyć, korzystając z wzorów (1 do 3).

$$X = k \int P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

$$Y = k \int P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

$$Z = k \int P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

gdzie  $P(\lambda)$  jest rozkładem widmowym światła rozproszonego od badanej powierzchni, natomiast  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  są funkcjami czułości widmowej oka ludzkiego zdefiniowanego dla tzw. obserwatora normalnego,  $k$  – współczynnik proporcjonalności, a  $\lambda$  oznacza długość fali.

Za pomocą składowych trójchromatycznych łatwo można obliczyć współrzędne trójchromatyczne:

$$x = X / (X + Y + Z) \quad (4)$$

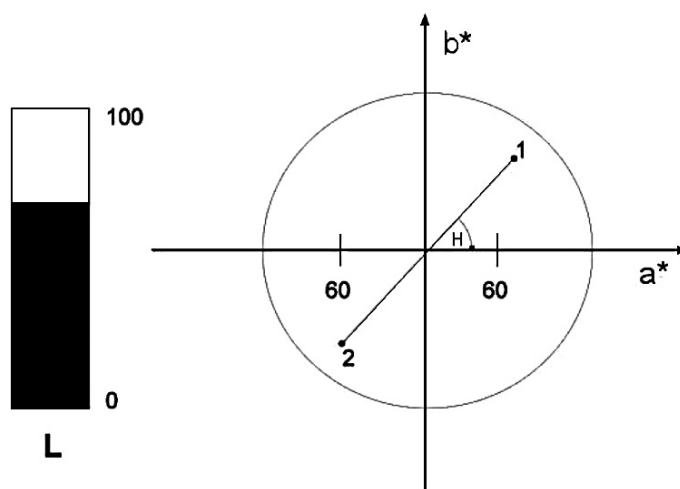
$$y = Y / (X + Y + Z) \quad (5)$$

$$z = Z / (X + Y + Z) \quad (6)$$

W 1976 roku opracowano nowy system zapisu barw  $L^*a^*b^*$  [5], w którym barwy opisano w układzie współrzędnych kartezjańskich. W systemie tym barwa opisana jest za pomocą trzech składowych; składowej achromatycznej  $L$  określającej luminancję oraz składowych chromatycznych  $a^*$  i  $b^*$ . Wartości parametru  $L$  przyjmują wartości od 0 do 100 gdzie 0 odpowiada kolorowi czarnemu, a 100 to jasność barwy widmowej. Parametry  $a^*$  i  $b^*$  przyjmują wartości od -120 do 120.

Najwygodniej jest przedstawić barwę w sposób pokazany na rys. 2, gdzie parametr  $L$  znajduje się w osobnym słupku, a parametry  $a^*$  oraz  $b^*$  tworzą układ kartezjański.

Barwy reprezentowane przez punkty znajdujące się na okręgu w pierwszych trzech ćwiartkach układu to czyste barwy widmowe, natomiast punkty z czwartej ćwiartki reprezentują tzw. barwy niewidmowe, czyli różnego rodzaju purpury. Punkt znajdujący się na przecięciu osi  $a^*$  oraz  $b^*$  reprezentuje zarówno barwę białą, jak i czarną. Punkt zaznaczony na wykresie jako 1 prezentuje pewną barwę, którą ze względu na położenie można nazwać pomarańczową. Odległość tego punktu od środka układu opisuje nasycenie barwą widmową. Im bliżej brzegu okręgu, tym barwa staje się bardziej nasycona. Układ  $L^*a^*b^*$  daje możliwość zdefiniowania w prosty sposób pojęcia barwy dopełniającej. Dla barwy oznaczonej punktem 1 jej barwą dopełniającą stanowi barwa reprezentowana przez punkt 2, leżąca w tej samej odległości od środka układu współrzędnych.



Rys. 2. Układ współrzędnych  $L^*a^*b^*$  [6]

Fig. 2.  $L^*a^*b^*$  coordinate system [6]

Istnieje możliwość konwersji barwy zapisanej w systemie  $XYZ$  do systemu  $L^*a^*b$  w sposób matematyczny według następujących wzorów

$$L = 116 \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} - 16 \quad (7)$$

$$a = 500 \left( \sqrt[3]{\frac{X}{X_0}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} \right) \quad (8)$$

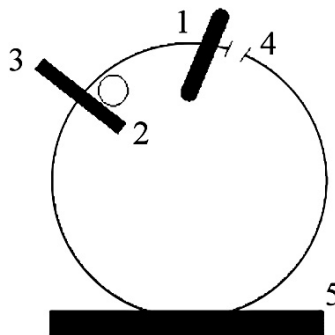
$$b = 200 \left( \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_0}} \right) \quad (9)$$

gdzie  $X, Y, Z$  to składowe trójkromatyczne barwy a  $X_0, Y_0, Z_0$  to składowe światła białego przyjętego za wzorec bieli. Powyższe zależności nie uwzględniają właściwości światła oświetlającego.

Obecnie system  $L^*a^*b$  jest najczęściej stosowanym systemem zapisu barw. Jego główną zaletą jest niezależność od urządzeń, na których barwa jest odtwarzana. Zakres barw, jaki zawiera ten system, jest większy niż w modelu RGB, teoretycznie posiada wszystkie możliwe barwy, jakie może rozpoznać ludzkie oko.

## 2. Metodyka pomiaru barw farb akrylowych

Z istniejących metod wyznaczania parametrów barwnych najbardziej popularną i najczęściej wykorzystywaną w pomiarach jest metoda fotometryczna. Barwa obserwowanego obiektu ma ścisły związek z odbiciem dyfuzyjnym (rozproszeniem światła w szerokim kącie brylowym), dlatego ważne jest, aby wybrać taki układ pomiarowy, który będzie w stanie zmierzyć odbicie tego rodzaju. Urządzeniem takim jest kula integrująca zwana inaczej kulą Ulbrichta.



Rys. 3. Kula całkująca Ulbrichta: 1, 3 – przesłony umożliwiające dyfuzyjne oświetlenie próbki, 2 – źródło światła, 4 – otwór wyprowadzający strumień światła do spektrofotometru, 5 – badana próbka [6]

Fig. 3. The Ulbricht integrating sphere 1, 3 – apertures allowing diffuse illumination of a sample, 2 – light source, 4 – hole for leading out of light flux to spectrophotometer, 5 – sample [6]

Wnętrze kuli pokryte jest materiałem o dużym współczynniku odbicia dyfuzyjnego oraz jest oświetlone lampą halogenowo-wolframową. Światło z lampy odbija się w sposób dyfuzyjny od ścianek kuli, oświetlając próbkę. Do otworu wyprowadzającego światło podłączony jest światłowód za pomocą którego światło z kuli dociera do spektrofotometru PC2000 firmy Avantes. PC2000 umieszczony na płycie głównej komputera PC jest w istocie kartą spektrofotometryczną składającą się więc z dwóch części: miniaturowego spektrometru i karty analogowo-cyfrowej podłączonych do komputera. Światło wchodzi przez szczelinę do spektrofotometru, gdzie za pomocą mikroukładu optycznego jest kierowane na odbiciową siatkę dyfrakcyjną. Widmo promieniowania analizowanego światła jest mierzone za pomocą linijki 2048 elementowej CCD. Za pomocą konwertera analogowo-cyfrowego informacje o rozkładzie spektralnym zostają przesłane do komputera i tam obliczane są parametry barwne badanej próbki. Parametry barwne obliczane są jako iloczyn widmowego rozkładu mocy źródła (w tym przypadku iluminantu A), widma odbicia od badanej próbki oraz funkcji czułości czopków oka. Cechą charakterystyczną iluminantu jest stały widmowy rozkład mocy promieniowania przypadającego na daną długość fali. Iluminant A jest promieniowaniem dającym światło typu WW (*warm white*) [5] i jest obecnie najczęściej stosowany do oceny barw oraz przy określaniu wpływu oświetlenia na zmianę barwy.

### 3. Wyniki eksperymentalne

Przy użyciu opisanego układu pomiarowego zbadano serię próbek farb akrylowych. Parametry barwne oraz widma odbicia dyfuzyjnego wyznaczone zostały w systemie  $L^*a^*b$  przy użyciu iluminantu A za pomocą programu ColorLab (Ocean Optics. Co.) Badaniu poddane zostały próbki farb na podłożu tynkowym z katalogu firmy AKAMIT oraz próbki powstałe po zmieszaniu bazy oraz pigmentu, a następnie naniesione pędzlem na biały karton. W celu przeanalizowania zmian parametrów barwnych wykorzystane zostały wzory, za pomocą których możliwe jest ilościowe określenie różnic pomiędzy próbką farby, wywołanym zdjęciem oraz wydrukowanym zdjęciem badanej próbki.

$$\Delta L = L_1 - L_2 \quad (10)$$

$$\Delta a = a_1 - a_2 \quad (11)$$

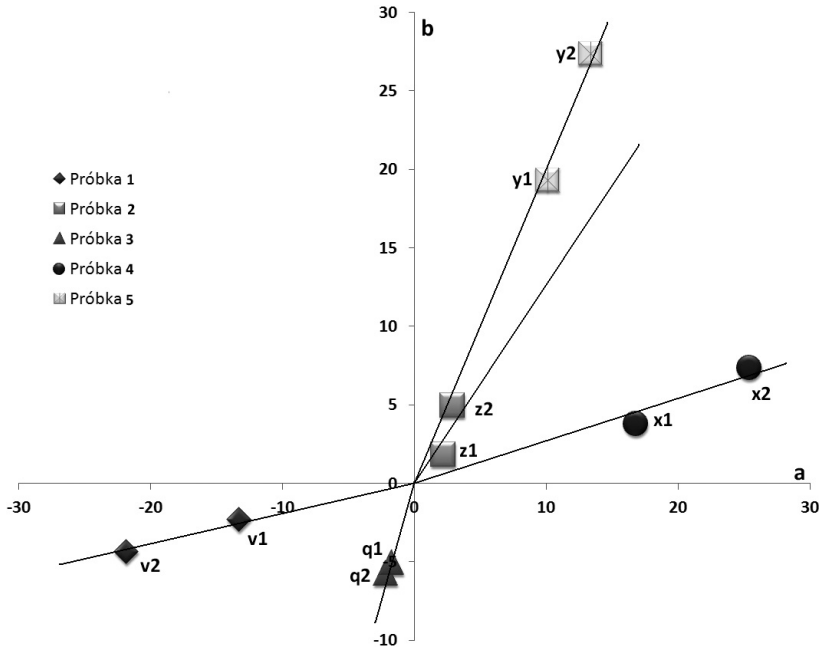
$$\Delta b = b_1 - b_2 \quad (12)$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (13)$$

$$\Delta C = \sqrt{a_1^2 + b_1^2} - \sqrt{a_2^2 + b_2^2} \quad (14)$$

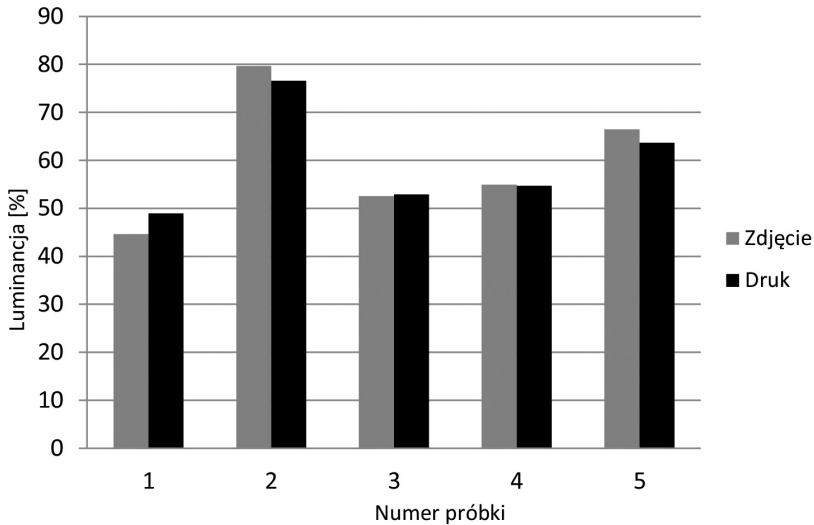
Wzory (10), (11) oraz (12) służą odpowiednio do obliczania: różnic luminancji  $\Delta L$ , różnic parametrów  $\Delta a$  i  $\Delta b$  dwóch porównywanych próbek. Wzór (13) wyznacza całkowitą różnicę barwną  $\Delta E$ , a wzór (14) różnicę chromatyczności  $\Delta C$ .

Na rys. 4. przedstawiono wartości wyznaczonych parametrów  $a$  i  $b$  dla sfotografowanych powierzchni pokrytych farbami akrylowymi oraz dla ich wydruków z drukarki atramentowej.



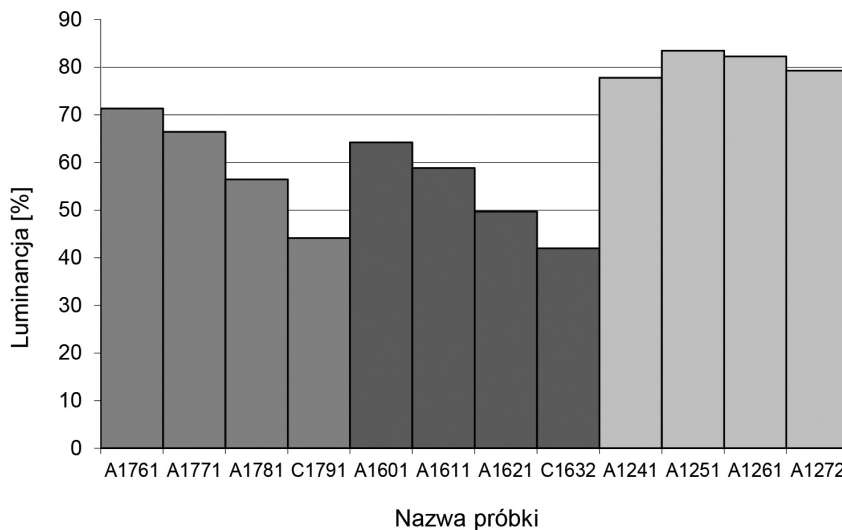
Rys. 4. Parametry barwne  $a$ ,  $b$  dla wydrukowanych i wywołanych odwzorowań farb akrylowych z liniami obrazującymi zmienność nasycenia

Fig. 4. Chromatic parameters  $a$  and  $b$  for acrylic paintings printed and photo shoots imaging (straight lines show linear dependences of hue)



Rys. 5. Luminancje zdjęć i wydruków powierzchni pokrytych farbami akrylowymi

Fig. 5. Luminance printed and photographed images of acrylic paintings



Rys. 6. Luminancje powierzchni pokrytych farbami akrylowymi wyznaczone z katalogu firmy Akamit. Pierwsze cztery słupki odnoszą się do odcienia brązowego, kolejne cztery słupki odnoszą się do odcienia czerwonego i ostatnie cztery do odcienia żółtego

Fig. 6. Luminance printed and photographed images of acryle paintings determined from Akamit catalogue. First four columns are referred to the brown hue, next four to the red, and the last ones to the yellow hue

Z obliczeń przeprowadzonych na podstawie wzorów (7 do 9) można zauważyć, że pewne odcienie odwzorowane za pomocą zdjęcia i wydruku leżą na jednej prostej łączącej je ze środkiem układu współrzędnych. Oznacza to, że przynajmniej dla tych odcieni wydruk i zdjęcie zachowują chromatyczność, natomiast zmienia się nasycenie barwy. Odległości w kartezjańskim układzie współrzędnych  $a$  i  $b$  obu typów odwzorowań są zbliżone do siebie.

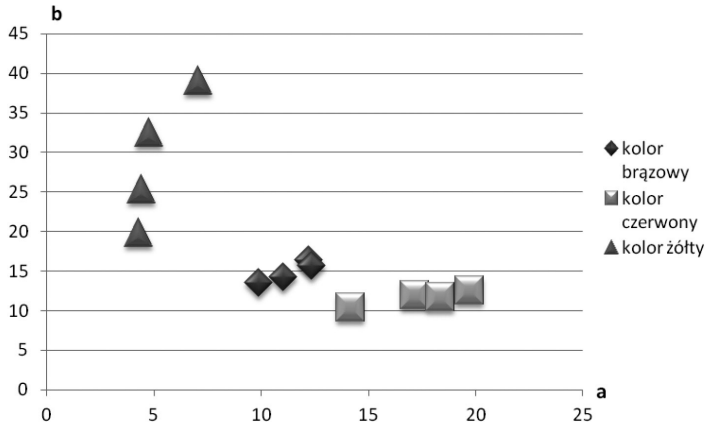
Na rys. 4. ze środka układu współrzędnych wyprowadzone zostały proste łączące punkty reprezentujące tę samą próbkę odwzorowaną za pomocą zdjęcia wydrukowanego oraz wywołanego. Punkty znajdujące się bliżej środka układu współrzędnych reprezentują barwy najmniej nasycone (pastelowe). Wraz ze wzrostem odległości od środka układu współrzędnych barwy stają się coraz bardziej nasycone. Odcinki łączące punkty np.  $x_1$ ,  $x_2$  lub  $z_1$ ,  $z_2$  obrazują różnicę nasycenia próbek.

Różnice luminancji obu porównywanych odwzorowań przedstawione są na rys. 5.

Jak wynika z rys. 5, luminancje odwzorowań barwnych przedstawionych próbek mają porównywalne wartości. Niewielkie różnice w wartościach luminancji wynikają z niedostatecznego doboru kontrastu przez użycie czarnego tuszu. Dobór barwy czarnej do barw kolorowych używanych w wydruku jest najczęstszym problemem uzyskiwania wierności odwzorowań barwnych.

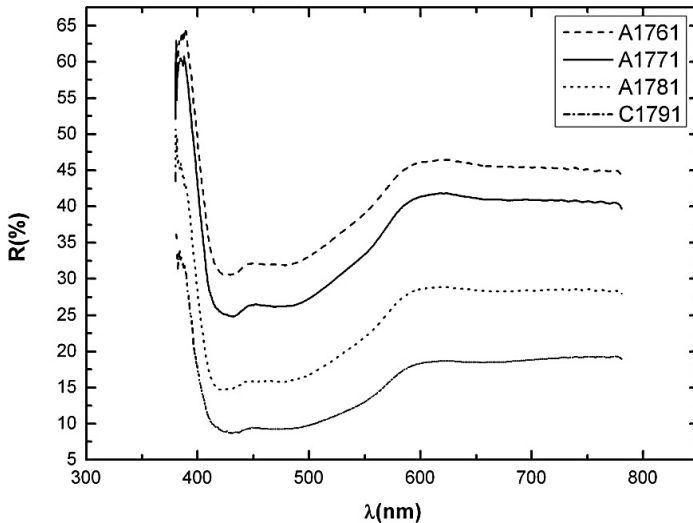
Na rys. 6. przedstawiono trzy serie próbek brązowych, czerwonych oraz żółtych z katalogu firmy AKAMIT, różniących się wartością luminancji. Katalog składał się z pokryć tynkowych, na które naniesiono farby akrylowe o określonej chromatyczności. Oznaczenia odcieni farb są zgodne z firmowymi numerami katalogowymi.

Na podstawie wyników badań barwnych przedstawionych na rys. 6. można stwierdzić, że zmiany barw brązowych oraz czerwonych uzyskuje się przez zmianę wartości luminancji, tzn. przez dodanie barwy szarej. Jak widać, w jednej serii wartości luminancji zmieniają się z niemal tym samym skokiem. Dla barw jasnych (np. żółta) luminancja jest stała i niezależna od numeru katalogowego barwy, natomiast zmianę barwy uzyskuje się przez zmianę nasycenia, a więc dodanie większej ilości pigmentu. Dla barw brązowych oraz czerwonych nasycenie zmienia się nieznacznie co widoczne jest na rys. 6.



Rys. 7. Parametry barwne wyznaczone z pomiarów prezentowanych na rys. 6

Fig. 7. Chromatic parameters of paintings from Fig. 6



Rys. 8. Widmo odbicia całkowitego dla powierzchni pokrytych farbami akrylowymi o różnych nasyceniach koloru brązowego

Fig. 8. Spectral reflectance for acrylic paintings with different hue of brown color



Ze sposobu rozmieszczenia danych na rys. 6 i 7 można wnioskować, że zmianę barwy brązowej uzyskuje się przez dodawanie do białej bazy pigmentu czerwonego, a następnie czarnego, co wpływa na zmniejszenie luminancji. Katalogowe barwy żółte uzyskiwane są przez stopniowe dodawanie coraz większych ilości żółtego pigmentu bez dodatku odcieni szarości. Dane dotyczące barwy czerwonej pozwalają wysunąć wniosek, że kolejne próbki uzyskiwane są przez dodatek do bazy pigmentu czerwonego, czarnego, ale również możliwa jest obecność niewielkich ilości innych pigmentów.

Barwa przedmiotu postrzegana przez tzw. obserwatora normalnego jest zależna od wyboru źródła oświetlenia, rozkładu widmowego współczynnika odbicia badanej próbki oraz wybranego systemu opisu barwy. Z fizycznego punktu widzenia najistotniejszą informacją o natężeniu światła rozpraszanego przez próbkę jest zależność widmowa natężenia światła rozproszonego. Tę informację reprezentuje widmowy współczynnik odbicia całkowitego.

Na rys. 8 przedstawione zostało widmo odbicia całkowitego od kolejnych czterech próbek koloru brązowego na podłożu tynkowym z katalogu firmy AKAMIT.

Na rys. 8. obserwuje się niemal równe przesunięcia pomiędzy widmami kolejnych próbek. Świadczy to o równych odstępach nasycenia poszczególnych próbek barwą brązową w wyniku dodania pigmentu. Z rysunku wynika, że dodanie większej ilości pigmentu do barwy brązowej nie powoduje zmian w charakterze widma odbicia.

#### 4. Wnioski

Zagadnienia związane z pomiarem barw są bardzo ważne z punktu widzenia przemysłu farbiarskiego. Jak wykazano w niniejszej pracy, parametry oraz widma odbicia próbek farb malowanych na podłożu kartonowym różnią się znacznie od ich odwzorowań w formie druku lub zdjęcia. Wpływ na te różnice może mieć jakość powierzchni badanej próbki. W przypadku druku oraz wywołanych zdjęć powierzchnia jest bardziej gładka od powierzchni farby. Poza tym odwzorowania próbek farb akrylowych za pomocą fotografii i druku są niemal identyczne.

Wyniki badań kolorymetrycznych przeprowadzone na farbach akrylowych i ich odwzorowaniach (wydruki, zdjęcia fotograficzne) pozwalają wyciągnąć następujące wnioski:

1. Różnice nasycenia pomiędzy fotografiami i drukiem badanych farb rosną wraz z odległością od środka układu współrzędnych tzn. im większe jest nasycenie badanej farby, tym mniej dokładne są jej odwzorowania;
2. Różnice luminancji w odwzorowaniach za pomocą druku oraz wywołanych zdjęć dla poszczególnych barw są nieznaczne;
3. Przy różnych odwzorowaniach barwa nie ulega zmianie, zmienia się tylko nasycenie, przy czym różnice w nasyceniu barwy w przypadku fotografii oraz druku są proporcjonalne do nasycenia barwy badanej próbki.

Analiza położenia względem siebie punktów pomiarowych na wykresie chromatyczności w układzie współrzędnych  $*a$  i  $*b$  pozwala ocenić w sposób ilościowy i jakościowy proces tworzenia kolejnych odcieni farb. Natomiast wyznaczenie widma całkowitego współczynnika odbicia dla poszczególnych próbek pozwala uzyskać dodatkowe informacje o chromatyczności, nasyceniu i luminancji farb modyfikowanych przez dodanie odpowiednich pigmentów.

## Literatura

- [1] Szczeniowski Sz., *Fizyka doświadczalna*, Część IV Optyka, PWN, Warszawa 1983.
- [2] Meyer-Arendt J.R., *Wstęp do optyki*, PWN, Warszawa 1977.
- [3] Felhowski W., Stanioch W., *Kolorymetria trójchromatyczna*, WNT, Warszawa 1973.
- [4] Chromaticity Diagrams, *Lab Report* (<http://www.efg2.com/Lab/Graphics/Colors/Chromaticity.htm>).
- [5] Helbig E., *Podstawy fotometrii*, WNT, Warszawa 1975.
- [6] Jaglarz J., *Wrażenia barwne* (<http://www.if.uj.edu.pl/Foton/89/pdf/07%20wrazenia%20barwne-jaglarz.pdf>).
- [7] Wright W.D., *The measurement of colour*, Hilger & Watts Ltd, London 1958.
- [8] Bennett J.M., Mattson L., *Introduction to Surface Roughness and Scattering*, Optical Society of America, Washington 1999.
- [9] Workman J. Jr., Springsteen A., *Applied Spectroscopy A Compact Reference for Practitioners*, Academic Press, 1998.
- [10] Jaglarz J., *Metody optyczne w badaniach powierzchni i powłok rzeczywistych*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2007.

JERZY BIAŁAS\*

SPRAWNOŚĆ PRZESYŁANIA DANYCH  
W PIERŚCIENIOWYCH LOKALNYCH  
SIECIACH KOMPUTEROWYCHDATA TRANSFER EFFICIENCY  
IN LOCAL AREA RING NETWORKS

## Streszczenie

Pierścieniowe lokalne sieci komputerowe działają w sposób bezkolizyjny i bez rywalizacji. Natomiast inaczej wygląda to w najpopularniejszej obecnie technologii sieciowej Ethernet, w której kolizje mogą występować, nawet w dość dużym nasileniu. Te dwie cechy zapewniają znacznie wyższą sprawność sieci, a więc ilość danych, jaka może być skutecznie przesłana w tej samej jednostce czasu. Jest to szczególnie widoczne w czasie dużego obciążenia sieci. Niniejszy artykuł zajmuje się porównaniem sprawności działania dwóch sieci pierścieniowych: Token Ring i FDDI (Fiber Distributed Data Interface), biorąc pod uwagę ich mechanizmy dostępu stacji sieciowych do nośnika. W nawiązaniu do tego zagadnienia przedstawione są też ogólne informacje na temat sprawności sieci Ethernet.

*Słowa kluczowe: lokalna sieć komputerowa, wydajność przesyłania danych, Ethernet, Token Ring, FDDI*

## Abstract

Local area ring networks operate without causing collision, and without station competition. It is quite opposite to currently the most popular technology, Ethernet network, where collisions may occur in a large amount. These two features of the ring networks provide significantly better performance and greater amount of data that can be effectively transmitted in the same time unit. This is especially true during high network load. This paper deals with the comparison of the efficiency of the two ring networks: Token Ring and FDDI (Fiber Distributed Data Interface), taking into account the access mechanisms to network stations. In relation to this issue general information about the efficiency of the Ethernet is also described.

*Keywords: local area network, data transfer efficiency, Ethernet, Token Ring, FDDI*

\* Dr inż. Jerzy Białas, Instytut Informatyki, Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki, Politechnika Krakowska.

## 1. Sprawność Ethernetu

Duży spadek wydajności Ethernetu wykazano w opracowaniu Boba Metcalfa i Davida Boggsa opisującego rozwój i działanie Parc Ethernetu już w 1976 r. [4]. Dowiedli oni, że sieć wypełnia się przy 36,8% obciążenia. Zostało to przedstawione przy założeniach maksymalnej transmisji ramek o minimalnej długości.

W 1988 roku David Boggs wraz z dwoma współpracownikami (Mogul i Kent) opublikowali wyniki badań praktycznych rzeczywistego systemu Ethernet [1]. Nawet kiedy 24 stacje stale rywalizowały o pasmo i wysyłały ramki o minimalnym rozmiarze (warunki podobne do założeń pierwszego modelu), wykorzystanie kanału oscylowało w granicach 9 Mb/s.

Jak wynika aktualnie z obserwacji administratorów, w tradycyjnej magistralowej sieci pracującej w protokole Ethernet, wydajność sieci może spaść nawet o 80%.

Problemy z siecią zaczynają się, gdy [3]:

- średnie wykorzystanie sieci w ciągu dowolnych 15 minut pracy przekracza 50%,
- średnie wykorzystanie sieci w ciągu dowolnej 1 godziny pracy przekracza 30%,
- średnie wykorzystanie sieci w ciągu dowolnych 8 godzin pracy przekracza 20%.

Jeśli weźmiemy pod uwagę medium transmisyjne, w którym dane przesyłane są z szybkością 100 Mb/s, to w ciągu ośmiu godzin pracy sieci może być przesłane bez większych problemów 70,3 GB, a nie 351,6 GB, jak by to wynikało wprost z przemnożenia szybkości taktowania i czasu przesyłania danych. Ethernet znany jest jako sieć radząca sobie z dużą liczbą przesyłanych danych w jednostce czasu, ale gdy takie obciążenie jest krótkotrwałe, czyli gdy są to tzw. „wybuchy transmisji ramek” [3]. Gdy duże obciążenie trwa dłużej niż kilka minut, dochodzi najczęściej do „zakleszczenia sieci”. Wynika ono z pojawiających się i następnie narastających lawinowo kolizji. Stacje, którym nie udało się wysłać swoich ramek, będą próbowały ponownie je przesłać po odstępie czasu generowanym losowo z pewnego przedziału wartości. Te dodatkowe retransmisje będą stanowić dodatkowy wzrost obciążenia sieci w kolejnych chwilach. W ten sposób coraz trudniej będzie przesłać dane bez wystąpienia kolizji.

Kolizje w Ethernetie pojawiają się wtedy, gdy dwie stacje inicjują transmisję w tym samym lub zbliżonym czasie. Ze względu na skończoną szybkość propagacji sygnału w sieci rozpoznanie kolizji przez stację może nastąpić nawet dopiero po upływie względnie długiego czasu od rozpoczęcia nadawania. Np. w technologii Ethernet 802.3, pracującej z szybkością 10 Mb/s, ten czas może wynieść nieco ponad 50 mikrosekund [3] i taka może być też różnica czasowa w rozpoczęciu transmisji przez dwie stacje. Czas ten nie wynika z samej propagacji sygnału elektrycznego w przewodniku, ale głównie z opóźnień w urządzeniach występujących na drodze transmisji, które wnoszą znacznie większy czas opóźnienia sygnału niż sama propagacja sygnału elektrycznego [2]. Maksymalna szerokość sieci 925 m w technologii Ethernetu 10Base2 jest pokonywana przez falę elektromagnetyczną bez uwzględniania urządzeń pośredniczących w czasie 3,1  $\mu$ s. Przy dużym obciążeniu sieci dochodzącym do maksymalnej możliwej przepustowości sieć Ethernet zakleszcza się dość szybko. Jak to natomiast wygląda w technologiach Token Ring i FDDI?

Ten problem spadku wydajności pojawiający się przy dużym obciążeniu nie występuje w sieciach pierścieniowych, w których mamy do czynienia z Tokenem (żetonem), którego obecność w poszczególnych stacjach organizuje dostęp do nośnika. Nie ma tutaj zatem rywalizacji w dostępie do medium transmisyjnego i nie ma też możliwości wystąpienia kolizji, gdyż dane mogą być wysyłane w danej chwili tylko przez jedną stację; tę, która posiada Token.

## 2. Token Ring

W sieciach pierścieniowych, Token Ring lub FDDI, stacja może wysłać swoje dane zorganizowane w postaci ramek danych, dopiero gdy otrzyma wcześniej od poprzedniej stacji trzybajtową ramkę Token [7]. W pierścieniu transmisja odbywa się zawsze w jednym kierunku. Dla zabezpieczenia przed pojawieniem się w pierścieniu kilku ramek jednocześnie, oprogramowanie sieciowe nie umożliwia wygenerowania nowej ramki danych. Nagłówek ramki danych może powstać tylko z Tokena przez jego modyfikację (negacja pojedynczego bitu w drugim bajcie Tokena). Wysłana ramka danych obiega cały pierścień dookoła i na koniec dociera do nadawcy. W trakcie obiegu poszczególne stacje odczytują w locie adres odbiorcy i stacja, która identyfikuje się jako odbiorca, odczytuje dane i ustawia znacznik potwierdzenia odbioru danych w przesuwającej się ramce. Wszystko to odbywa się bez zatrzymania transmisji. Wykorzystywane są tylko rejestry przesuwne jako bufor w poszczególnych stacjach. Nadawca sprawdza znacznik odbioru danych i wie w ten sposób, że dane dotarły do adresata. Jednocześnie nadawca likwiduje swoją ramkę. Przyjmijmy, że rejestr przesuwny ma wielkość trzech bajtów. Protokół transmisji określa minimalną ilość bajtów, które muszą być buforowane przez pierścień. Muszą to być 3 bajty, ponieważ z tyłu składa się Token. Po obiegnięciu ramki danych dookoła pierścienia stacja posiadająca Token może wysłać kolejne ramki, o ile nie minął dopuszczalny czas przetrzymywania Tokena (standardowo 10 ms). W przeciwnym przypadku przekazuje Token do następnej stacji.

Celem autora nie jest porównywanie bezwzględnych wartości liczby przesłanych bajtów, lecz określenie sprawności sieci definiowanej jako maksymalna możliwa ilość przesłanych danych wynikająca z protokołu transmisji do ilości danych, jakie zostałyby przesłane przez medium transmisyjne (np. między dwoma urządzeniami), biorąc tylko pod uwagę szybkość bitową transmisji i uznając, że nie ma strat na przesyłanie danych nadmiarowych służących do organizacji transmisji przez protokół. Wartość tę wyraża się w procentach. Zatem ogólnie sprawność  $\eta$  będzie w postaci:

$$\eta = \frac{R_d}{L_m} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

- $\eta$  – sprawność lokalnej sieci komputerowej wyrażona w [%],
- $R_d$  – liczba bajtów użytecznych przesłanych w sieci - rozmiar ramki danych,
- $L_m$  – maksymalna możliwa liczba bajtów w pełnym cyklu wynikająca z szybkości taktowania sieci.

Medium transmisyjne taktowane jest ze stałą częstotliwością, określając w ten sposób szybkość bitową linii. Niech określenie „pusty bajt” będzie odpowiednikiem czasu transmisji jednego bajta danych, gdy w medium brak jest aktualnie transmisji danych użytecznych. W pracującym pierścieniu Token Ring (rys.1) obserwator będzie obserwował ramkę danych użytecznych, następnie brak transmisji danych przez czas odpowiadający obiegowi danych dookoła pierścienia (będą to puste bajty w ilości odpowiadającej pojemności buforów wszystkich stacji w pierścieniu oraz ramkę Token – razem  $L_m$  bajtów.

Zatem:

$$L_m = R_d + L_p + T \quad (2)$$

gdzie:

$L_p$  – liczba bajtów „pustych” – gdy brak przesyłania danych a medium transmisyjne jest taktowane

$T$  – rozmiar Tokena (standardowo 3 bajty)

czyli sprawność Token Ringu wyniesie:

$$\eta_{TR} = \frac{R_d}{R_d + L_p + T} \cdot 100\% \quad (3)$$

$$L_p = n \cdot R_B \quad (4)$$

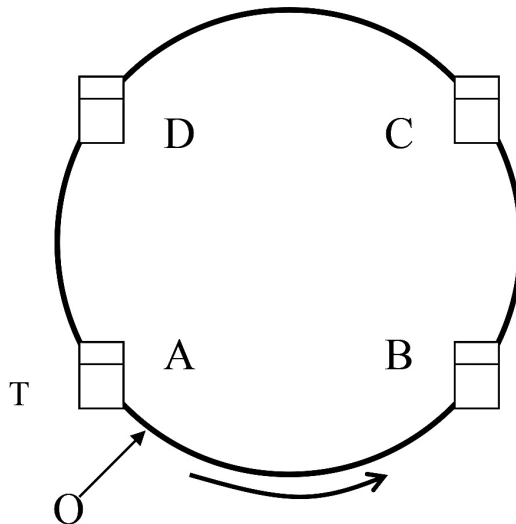
gdzie:

$n$  – liczba stacji w pierścieniu,

$R_B$  – rozmiar bufora (rejestr przesuwany) każdej stacji - przyjętego w tym opracowaniu jako 3 bajty.

Ostatecznie:

$$\eta_{TR} = \frac{R_d}{R_d + nR_B + T} \cdot 100\% \quad (5)$$



Rys. 1. Poglądowy schemat działania pierścienia Token Ring i FDDI z zaznaczonym obserwatorem  
O, T – Token, A,B,C,D – stacje robocze

Fig. 1. Block diagram of Token Ring and FDDI action with the selected observer  
O, T – Token, A, B, C, D – workstations

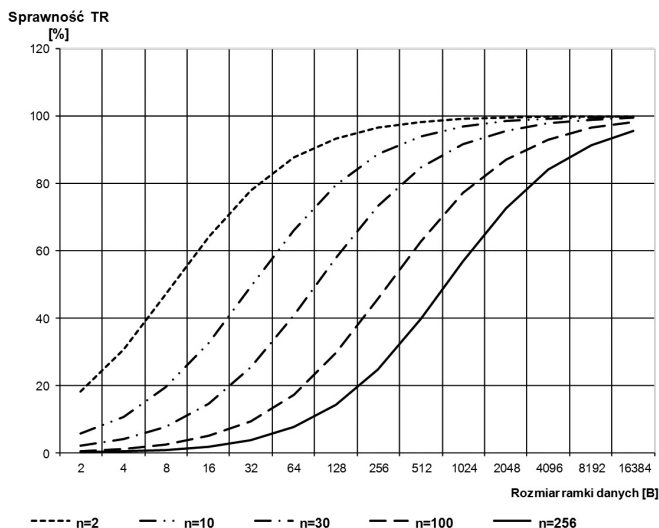
Dla określenia sprawności należy zliczać bajty. Niech w punkcie O bezpośrednio za stacją A (rys. 1) będzie umieszczony obserwator zliczający przesyłane bajty. Niech na początku stacja A posiada Token. Ma zatem prawo wysłać swoją ramkę. Ramka może mieć rozmiar począwszy od 2 bajtów (np. ramka przerwania złożona jest z dwóch bajtów: bajt ogranicznika początku i bajt ogranicznika końca), a skończywszy na maksymalnym rozmiarze ramki danych 18000 B.

Przyjęto założenia, że każda stacja sieciowa posiada bufor w postaci rejestru przesuwanego o wielkości trzech bajtów i każda stacja zawsze będzie chciała wysłać dane, w ten sposób zostanie zbadana sprawność przy maksymalnym obciążeniu sieci.

Obserwator będzie obserwował wysyłane dane ze stacji A, a następnie puste bajty aż do czasu zakończenia obiegu pierścienia przez ramkę danych oraz Token, który stacja A po skończonej transmisji przekaże dalej. Sprawność będzie zależała od wielkości przesyłanej ramki oraz od pojemności pierścienia, która wpływa na czas pustych bajtów. Np. dla ramki o wielkości 100 B i sieci złożonej z 30 stacji, obserwator w cyklu przesłania danych zaobserwuje 100 B danych „użytecznych” i  $30 \cdot 3$  bajtów pustych oraz 3 bajtowy Token. Zatem sprawność wyniesie

$$\eta_{TR} = \frac{100}{100 + 90 + 3} \cdot 100\% = 51,8\% \quad (6)$$

Licząc w ten sposób sprawność dla wielkości ramek w zakresie 2-18000 B dla różnych rozmiarów pierścienia, otrzymamy szereg wartości, które można przedstawić w postaci rodziny krzywych na wykresie (rys 2), gdzie wartościami na osi poziomej jest rozmiar przesyłanej ramki, a parametrem określającym daną krzywą – rozmiar pierścienia.



Rys. 2. Rodzina krzywych przedstawiających sprawność technologii Token Ring w funkcji rozmiaru ramki przy wybranych parametrach rozmiarów pierścienia

Fig. 2. The set of characteristics presenting the efficiency of the technology Token Ring as a function of the frame size and the ring size

Z wykresów (rys. 2) wynika, że sprawność pierścienia Token Ring silnie zależy od rozmiarów ramek danych i wielkości pierścienia. Tylko duże ramki i względnie małe pierścienie pozwalają na osiągnięcie wyższych sprawności rzędu 80-100%.

### 3. FDDI

W przypadku technologii pierścieniowej FDDI, o ile chodzi o dostęp do nośnika, jest jedna zasadnicza różnica w porównaniu do technologii Token Ring. Nadawca w FDDI nie czeka z przekazaniem Tokena do następnej stacji aż jego ramka danych obiegnie cały pierścień, tylko bezpośrednio za nią umieszcza Token. Jest to tzw. mechanizm szybkiego uwalniania Tokena [5]. Dzięki temu kolejna stacja ma możliwość umieszczenia swojej ramki bezpośrednio za ramką danych nadawcy A (rys. 1). Kolejna stacja, gdy otrzyma Token, może go zamienić w nagłówek ramki danych, następnie umieścić dane zgodnie z częstotliwością taktowania pierścienia i za swoją ramką umieścić Token. W ten sposób nie następuje opróżnienie pierścienia i jego jałowa praca, tak jak to jest w Token Ringu. Obserwator „widzi” zatem ciąg ramek danych pochodzących od różnych nadawców, a na samym końcu ramkę Token. Później za ramką Tokena jest krótka chwila, gdy obserwator widzi puste bajty. Jest to czas odpowiadający sytuacji, gdy ramka danych po obiegnięciu całej pętli zostaje usuwana z pierścienia przez jej nadawcę. Stanowi to mały procent czasu pracy pierścienia i w związku z tym mały spadek wydajności transmisji. Zatem sprawność dla technologii FDDI można określić

$$\eta_{FDDI} = \frac{nR_d}{nR_d + nR_B + T} \cdot 100\% = \frac{R_d}{R_d + R_B + \frac{T}{n}} \cdot 100\% \quad (7)$$

Z (7) wynika, że rozmiar pierścienia (liczba stacji) w przypadku FDDI ma pomijalnie mały wpływ na sprawność. Jeśli chodzi o transmisję Tokena, to w przypadku Token Ringu jego rozmiar sumuje się wprost w mianowniku, w przypadku FDDI ma tym mniejszy wpływ im więcej jest stacji w pierścieniu.

Dla analogicznego przykładu jak (6), dla ramek danych o wielkości 100 B i sieci złożonej z 30 stacji, obserwator w cyklu przesłania danych zaobserwuje 30\*100 B danych „użytecznych” i 30\*3 bajtów pustych. Zatem sprawność dla FDDI wyniesie

$$\eta_{FDDI} = \frac{100}{100 + 3 + \frac{3}{30}} \cdot 100\% = 97\% \quad (8)$$

Wobec spadku sprawności w TR o blisko 50 % (6), tutaj mamy spadek tylko o 3%.

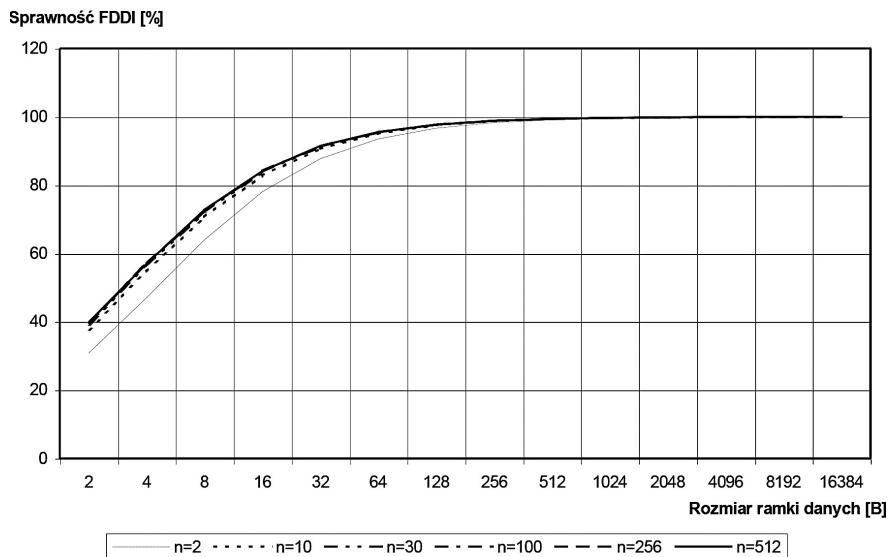
Dla ramek danych wielkości rzędu 1 kB będzie to odpowiednio

$$\eta_{TR} = 91,5 \%$$

$$\eta_{FDDI} = 99,7 \%$$

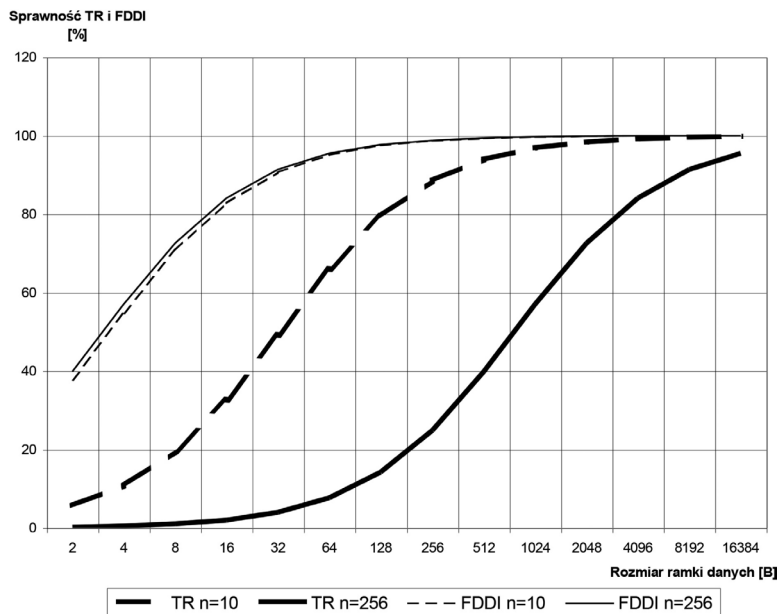
Zatem sprawność w Token Ringu wzrasta do nieco ponad 90%, a w FDDI osiąga praktycznie 100%.





Rys. 3. Rodzina krzywych przedstawiających sprawność technologii FDDI w funkcji rozmiaru ramki przy wybranych parametrach rozmiarów pierścienia

Fig. 3. The set of characteristics presenting the efficiency of the technology FDDI as a function of the frame size and the ring size



Rys. 4. Porównanie wybranych krzywych sprawności w TR i FDDI dla tych samych parametrów

Fig. 4. Direct comparison of efficient TR and FDDI for the same parameters

Rodzina krzywych (rys.3) pokazuje, że zwiększanie liczby urządzeń w pierścieniu nie wpływa na zmianę sprawności. Jedynie dla bardzo małej liczby sprawność jest nieco mniejsza, jednak jest to ilość nie mająca znaczenia w praktyce. Natomiast zwiększanie liczby urządzeń poprawia sprawność. Jest to zjawisko odwrotne niż w technologii Token Ring. Poza tym dla praktycznych wielkości ramek (powyżej 60B) sprawność staje się bliska 100%.

Rysunek 4 bezpośrednio pokazuje, że sprawność technologii FDDI jest zdecydowanie większa niż dla Token Ringu. Największa różnica jest dla pierścieni o większej średnicy. Co więcej, wzrost rozmiaru pierścienia poprawia sprawność FDDI, a zdecydowanie pogarsza dla Token Ringu w szerokim zakresie rozmiarów ramek.

Porównując technologię FDDI z Token Ring, oprócz powyżej przedstawionej analizy sprawności, warto jeszcze wymienić najważniejsze różnice między nimi [6]. Są to głównie zalety FDDI:

- Szybkie uwalnianie Tokena;
- Wyższa sprawność – bliska 100% – niezależnie od wielkości pierścienia;
- Możliwość autonaprawy bez przerywania pracy poprzez logiczne zawijanie pierścienia;
- Możliwość pracy w podwójnym pierścieniu;
- Możliwość większej liczby stacji roboczych (do 500);
- Znacznie większy zasięg sieci (nawet do 200 km);
- Transmisja światłowodem, chociaż jest wersja FDDI w oparciu o skrętkę miedzianą, wtedy jest to CDDI;
- Większa szybkość strumienia bitowego – mniej istotna, ponieważ i w technologii Token Ring są możliwe „szybkie” wersje;
- Różnice w wielkości ramki danych – w TR do 18 kB w FDDI do 4,5 kB.

#### 4. Wnioski

W pierścieniowych sieciach lokalnych pracujących w technologii Token Ring sprawność wg definicji (1) znacznie spada dla ramek o małych, a nawet średnich rozmiarach, szczególnie znaczny spadek jest widoczny dla pierścienia zawierającego dużo stacji roboczych.

Technologia FDDI jest odporna na spadek wydajności dla małych ramek, nawet przy dużych pierścieniach zawierających znaczną liczbę stacji, a wręcz większa liczba stacji poprawia sprawność. Sprawność pozostaje wysoka – ponad 90% już od rozmiaru ramki 30B. Decyduje o tym mechanizm szybkiego uwalniania Tokena, którego to mechanizmu nie ma w technologii Token Ring.

W tej analizie przyjęto całą ramkę danych jako dane użyteczne. Nie brano zatem pod uwagę różnic w budowie ramki w technologii Token Ring i FDDI, aby wyraźnie wskazać znaczenie mechanizmu szybkiego uwalniania Tokena. Różnica w budowie ramek miałyby tylko takie znaczenie o ile różne są rozmiary ramek przy przenoszeniu takiej samej liczby danych użytkownika. Ramka danych zawiera oprócz samych danych dodatkowe bajty organizujące przesyłanie ramki w sieci lokalnej i rozległej. Są to m.in. bajty kontrolne, adres odbiorcy, adres nadawcy, suma kontrolna itp., wynikające z całego procesu przygotowania ramki danych począwszy od najwyższej warstwy – warstwy aplikacji, a skończywszy na warstwie łącza danych modelu Osi. Warstwa fizyczna już nie dokłada żadnych logicznych bajtów – zamienia tylko postać logiczną ramki na strumień bitowy.

W tym opracowaniu skupiono się przede wszystkim na wskazaniu zasadniczej różnicy w dostępie do medium transmisyjnego – szybkiego uwalniania Tokena – aby pokazać wpływ jedynie tego mechanizmu na różnice w sprawności, przyjmując pozostałe parametry takie jak: szybkość taktowania pierścienia, rozmiar ramek danych jako takie same w obu technologiach.

### Literatura

- [1] Boggs D.R., Mogul J.C., Kent C.A., *Measured capacity of an Ethernet: myths and reality*, Sigcomm 1988;
- [2] Brenton C., *Projektowanie sieci wieloprotokółowych*, Warszawa 1998;
- [3] Krysiak K., *Sieci komputerowe. Kompendium*, Helion 2005;
- [4] Metcalfe R.M., Boggs D.R., *Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks*, Xerox Palo Alto Research Center 1978;
- [5] Mills A., *Understanding FDDI*, Prentice Hall, 1995;
- [6] Sportack M., *Sieci komputerowe. Księga eksperta*, Helion 2004;
- [7] Tanenbaum A.S., *Sieci komputerowe*, Helion 2004.



TOMASZ GĄCIARZ, KRZYSZTOF CZAJKOWSKI\*

## WPŁYW METODY SELEKCJI SŁÓW KLUCZOWYCH NA SKUTECZNOŚĆ KLASYFIKACJI STRON INTERNETOWYCH Z WYKORZYSTANIEM ALGORYTMU BOOSTINGU

---

### THE INFLUENCE OF THE KEYWORDS SELECTION METHOD ON THE EFFECTIVENESS OF THE WEB PAGES CLASSIFICATION USING THE BOOSTING ALGORITHM

---

#### Streszczenie

Artykuł porusza zagadnienia dotyczące klasyfikacji stron internetowych. Klasyfikacja przeprowadzana jest w oparciu o analizę struktury oraz zawartości stron. Pod uwagę brane są cechy zróżnicowanym charakterze, w tym między innymi cechy strukturalne, wizualne, tekstowe, łączące strony internetowych. Przy budowie klasyfikatorów wykorzystano algorytm AdaBoost. Skupiono się na wpływie metody selekcji słów kluczowych na skuteczność procesu klasyfikacji.

*Słowa kluczowe: strona internetowa, ekstrakcja cech, klasyfikacja, AdaBoost*

#### Abstract

The paper concerns the issues of web pages analysis process. The classification is performed based on the analysis of the structure as well content of pages. Various characteristics are taken into account including inter alia, structural, visual, text, web and links features. During the construction of classifiers the AdaBoost algorithm was applied. This paper focuses on the impact of keyword selection methods on the effectiveness of the classification process.

*Keywords: web page, features extraction, classification, AdaBoost*

---

\* Dr inż. Tomasz Gąciarz, mgr inż. Krzysztof Czajkowski, Instytut Teleinformatyki, Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Wraz ze wzrostem liczby stron internetowych coraz większym problemem staje się konieczność przeszukiwania dużych liczby stron internetowych. Dostępne wyszukiwarki internetowe pozwalające za pomocą podanych przez użytkownika słów kluczowych zaprezentować tylko te dokumenty, które spełniają zadane kryteria, nie są rozwiązaniem zadowalającym. Użytkownik może za ich pomocą określić na przykład, że interesują go informacje ze stron związanych z konkretną tematyką, ale tylko o określonym charakterze. Wydawać by się mogło, że rozwiązanie jest bardzo proste, wymaga tylko wpisania, poza konkretnym wyrażeniem, dodatkowego hasła (np. słowa „sklep”), określają charakter poszukiwanych witryn. Prostota tego zagadnienia (i rozwiązania) jest tylko pozorna, ponieważ słowa i całe wyrażenia pojawiają się na różnych stronach i nie koniecznie (lub nie całkowicie) muszą być związane z charakterem konkretnej strony.

Uzasadniona wydaje się więc próba skatalogowania różnych „rodzajów” (*genre*) stron i przypisania ich do właściwej im kategorii lub inaczej klasy przynależności. Strony należące do danej klasy charakteryzować się będą podobnym „stylem” jeśli chodzi o formę przekazu lub sposób prezentacji zawartości. Strony o podobnej treści będziemy mogli przypisać do różnych kategorii w sensie, w jakim je tu rozróżniamy. Wiele prac związanych z automatyczną klasyfikacją stron internetowych akcentuje tę ortogonalność treści i formy [10].

Z uwagi na liczbę stron oraz fakt, że ta liczba stale wzrasta konieczne jest opracowanie rozwiązań automatyzujących ten proces i umożliwiających cykliczne jego powtarzanie. W tym zakresie prowadzone są liczne prace obejmujące wykorzystanie różnych podejść sztucznej inteligencji, w tym między innymi zbiorów przybliżonych (*Rough Set*) [2, 3], uczenia maszynowego (*Machine Learning*) [5], algorytmów mrówkowych (*Ant Colony*) [6], naiwnych klasyfikatorów bayesowskich (*Naive Bayes*) [7], maszyn wektorów nośnych (*Support Vector Machine*) [8]. Zależnie od wielu czynników, w tym między innymi od przyjętej metody, rozważanej liczby klas (kategorii), wykorzystywanej liczby stron w zbiorze uczącym, uwzględniania języka stron, uzyskiwano różną skuteczność. Wciąż jednak nie opracowano rozwiązania, którego skuteczność byłaby satysfakcjonująca, a pracę nad różnymi podejściami nadal trwają.

W pracy [14] wykorzystano podejście opierające się na metodzie boostingu. Jest to metodą generowania zestawu komitetów klasyfikatorów. Charakteryzuje się wysokim (*state-of-the-art*) poziomem efektywności i solidnymi podstawami teoretycznymi z zakresu inteligentnych systemów uczących się. Jej skuteczności dowiedziono w rozwiązaniach szerokiego wachlarza problemów - m.in. automatycznej klasyfikacji tekstów [13]. Zainspirowani tym faktem autorzy postanowili sprawdzić jedną z odmian boostingu – algorytm AdaBoost w odniesieniu do zadania klasyfikacji umożliwiającej podział stron internetowych na poszczególne kategorie. Opracowane rozwiązanie bazuje na dużej liczbie różnorodnych cech opisujących dokumenty [14, 15]. Należy zwrócić uwagę na fakt, że wiele specyficznych algorytmów w języku angielskim nie sprawdza się w analizie języka polskiego.

W artykule skupiono się na weryfikacji wpływu wyboru metody selekcji słów kluczowych dla poszczególnych kategorii stron, na skuteczność procesu klasyfikacji. Metoda doboru słów kluczowych, będąca jednym z istotnych elementów opracowywanego systemu [15], wybrana zostanie w oparciu o przeprowadzone eksperymenty.

## 2. Kategorie stron internetowych

Skuteczność procesu klasyfikacji silnie zależy od wybranych klas, ich liczby oraz możliwie jak najbardziej niezależnych cech je charakteryzujących. Obecnie coraz trudniej jest wskazać zarówno takie kategorie, jak i cechy, ponieważ zawartość witryn internetowych jest często „wymieszana”, dynamiczna i trudna do precyzyjnego określenia. Wyszukiwane cechy dotyczą zwykle języka i zawartości strony, formy oraz jej funkcjonalności.

W publikowanych pracach zdecydowano się na różne zestawy kategorii, kierując się różnymi kryteriami. W pracy [1] skupiono się na czterech klasach: FAQ, News, E-Shopping, Personal Home Pages. Wykorzystano 1280 przykładowych stron, po 170 stron dla każdej z czterech klas, oraz 600 stron nienależących do żadnej z rozpatrywanych klas. W artykule [10] zaproponowano podział na 8 gatunków: *link collection*, *help*, *shop*, *por-trayal non-private*, *portrayal private*, *article*, *download*, *discussion*. Wykorzystano 1209 stron internetowych podzielonych na 8 zbiorów (zgodnie z rozpatrywanymi klasami). Z każdego zbioru losowano po 100 stron i tylko one brały udział w poszczególnych eksperymentach. W pracy [4] rozpatrywano 7 klas: *blog*, *eshop*, *FAQ*, *online newspaper front page*, *listing*, *personal home page*, *search page*. Wykorzystano zbiór 1400 stron internetowych, a każda klasa była reprezentowana przez 200 stron.

Niektóre cechy charakteryzują jednocześnie kilka klas, to znaczy ich obecność nie determinuje konkretnej klasy. Obecnie problem jest jeszcze bardziej złożony z uwagi na fakt, że strony internetowe stają się coraz bardziej rozbudowane, pełne elementów multimedialnych i są tworzone w coraz bardziej zaawansowanych technologiach. Nawet wówczas gdy, jak w przypadku stron typu FAQ, wciąż zachowana jest pewnego rodzaju „prostota” takich dokumentów, są one często częścią większych stron (forum, portali itp.). Sytuacja komplikuje się dodatkowo, gdy wybrana zostanie większa liczba klas, na jakie dzielone są strony. Zwiększając liczbę klas, coraz trudniej jest jasno i precyzyjnie wskazać zestaw kilku czy kilkunastu cech, jakie wyróżniają daną klasę na tle innych.

Internet cechuje nie tylko stały wzrost liczby stron (różnych klas – przy czym liczba stron poszczególnych klas wzrasta nierównomiernie), ale także ewolucja istniejących klas oraz pojawianie się klas zupełnie nowych [9].

Problem ten to zapewne podstawowa przyczyna, dla której w niektórych pracach (np. [1]) skupiono się na stosunkowo niewielkiej grupie kategorii. Pozwala to zazwyczaj na uzyskanie dobrych wyników pod kątem skuteczności. Pamiętając jednak o tym, że poza skutecznością drugim ważnym wyznacznikiem jest użyteczność, zawężanie się do kilku klas może okazać się niesatysfakcjonujące. Z uwagi na ten problem, w pracach wykorzystujących podział na większą liczbę klas (m.in. [4, 10]) wykorzystywano znacznie większą liczbę cech, w tym m.in. znaki interpunkcyjne, charakterystykę długości strony, różne tagi HTML itp. Prowadzono także eksperymenty na różnie skonstruowanych podgrupach cech.

W prezentowanych badaniach rozważano 9 klas. W eksperymentach wykorzystano w celach treningowych 1800 stron, po 200 dla każdej z 9 klas:

- Artykuł (*Article*) – wypowiedź publicystyczna;
- Blog (*Blog*) – zbiór odrębnych, samodzielnych, uporządkowanych chronologicznie wpisów, których twórcą jest właściciel strony;
- E-sklep (*E-shop*) – sklep internetowy;
- FAQ (*Frequently Asked Questions*) – zbiory „często zadawanych pytań” i odpowiedzi;
- Forum (*Forum*) – forma dyskusji, posiadająca wyodrębnione wątki;

- Katalog (*Catalog*)– moderowany ręcznie zbiór adresów stron internetowych, pogrupowany tematycznie;
- Portal (*Portal*) – serwis informacyjny dostępny z jednego adresu internetowego, rozbudowany o różnorodne funkcje internetowe;
- Strona domowa (*Personal Home Page*) – prywatna strona internetowa stanowiąca internetową wizytówkę danego użytkownika (właściciela);
- Strona firmowa (*Company Home Page*) – strona internetowa stanowiąca internetową wizytówkę danej firmy (będącej jej właścicielem);

### 3. Cechy opisujące strony internetowe

Skuteczna klasyfikacja stron internetowych opiera się na znalezieniu odpowiednich cech je charakteryzujących. Trudno jest określić z góry, które cechy są na pewno istotne (i okażą się kluczowe w procesie klasyfikacji), a które mają znaczenie marginalne. Wydaje się, że jedyną drogą weryfikacji, które atrybuty stron i w jakim stopniu są znaczące, są praktyczne testy. W omawianym podejściu przyjęto założenie, że wydobywana będzie możliwie duża liczba właściwości opisujących strony. W przypadku stron internetowych istotne cechy dotyczą zarówno treści stron (elementów widocznych dla odwiedzającego stronę), ich struktury (rodzajów i treści tagów html) oraz funkcjonalności (m.in. skrypty, linki do innych stron) [1].

Bardziej precyzyjnie, cechy opisujące stronę HTML można podzielić na kilka kategorii:

- Cechy tekstowe: statystyki słów kluczowych (zawartych w słownikach zbudowanych dla każdej kategorii), inne statystyki oparte o słowniki, ogólne statystyki tekstu, znaki interpunkcyjne, znaki typograficzne, statystyki części mowy. W prezentowanym rozwiązaniu skupiono się na słowach w języku polskim. Między innymi wybrano następujące cechy:
  - stosunek liczby wystąpień słowa kluczowego do wszystkich słów,
  - stosunek liczby wystąpień słów będących daną częścią mowy do wszystkich słów,
  - stosunek liczby wystąpień w tekście znaku interpunkcyjnego do wszystkich znaków interpunkcyjnych,
  - stosunek liczby wystąpień w tekście znaku typograficznego do wszystkich znaków typograficznych,
  - stosunek liczby wystąpień emotikony do wszystkich emotikon,
  - stosunek liczby wystąpień emotikon do wszystkich słów.
- Cechy strukturalne, m.in:
  - stosunek liczby tagów html do ogólnej liczby treści na stronie,
  - stosunek liczby wystąpień sekwencji tagów (tzw. *N*-gramów) do wszystkich tagów,
  - stosunek liczby kodu skryptowego do pozostałej treści,
  - stosunek liczby kodu skryptowego do liczby kodu html,
  - średnia liczba wystąpień poszczególnych tagów związanych ze strukturą dokumentu w odniesieniu do wszystkich tagów.
  - stosunek liczby wystąpień tagu (np. `<td>`) do wszystkich Tagów,
  - stosunek liczby wystąpień sekwencji tagów (np. `<td><img>`) do wszystkich tagów,
  - stosunek liczby słów do ilości treści,
  - stosunek liczby kodu css do ilości treści,
  - stosunek liczby wystąpień atrybutu (np. `id`) do wszystkich tagów,



- wariancja wartości określonego atrybutu dla tagu (np. `<script type=..>`).
- Cechy wizualne, m.in.:
  - związane z formatowaniem – średnie liczby poszczególnych tagów formatujących,
  - związane z obrazami – stosunek liczby tagu `<img>` do wszystkich tagów, stosunki wystąpień obrazów w poszczególnych, typowych formatach, stosunki wystąpień obrazów o wielkościach: małych, średnich i dużych,
  - związane z plikami multimedialnymi – stosunki liczby plików w różnych formatach do liczby wszystkich plików multimedialnych,
  - związane ze stylem – w tym również występowanie odwołań do zewnętrznych arkuszy CSS.
- Cechy linków do innych stron, m.in.:
  - liczba wszystkich linków,
  - stosunek linków prowadzących do tej samej domeny do wszystkich linków,
  - stosunek linków prowadzących do innej domeny do wszystkich linków,
  - stosunek linków „mailowych” do wszystkich linków,
  - stosunek linków „obrazkowych” do wszystkich linków,
  - stosunek linków związanych z obrazami do wszystkich linków.

#### 4. Metody pozyskiwania słów kluczowych

Jak przedstawiono w punkcie 3, jednym z najistotniejszych źródeł informacji o przynależności danej strony do konkretnej kategorii mogą być cechy tekstowe. Wśród nich szczególną rolę pełnią słowa kluczowe. Jest to spowodowane po pierwsze stosunkowo dużą liczbą otrzymanych w ten sposób cech (a więc i słabych klasyfikatorów) – aż 50 dla każdej z 9 rozpatrywanych klas. Po drugie są to jedyne cechy (sposób rozważanych) dotyczące treści stron, a nie ich struktury lub formatowania. Dodatkowo jest to jedyny podzbiór rozpatrywanych cech, którego liczebność można łatwo zmieniać przez ustawienie limitu rozpatrywanych słów.

W omawianym rozwiązaniu wzięto pod uwagę trzy różne sposoby pozyskiwania słów kluczowych. Każdą z trzech metod zaimplementowano w aplikacji i przeprowadzono szereg testów omówionych w punkcie 6. Ponadto aplikacja umożliwia zmianę liczby wyszukiwanych słów kluczowych, jednak tutaj przyjęto ich liczbę na 50 dla każdej klasy i była to liczba stała podczas weryfikacji wszystkich trzech metod.

**Metoda I** (którą można określić jako „podejście ogólne”) polega na ustaleniu liczby wystąpień danego słowa we wszystkich dokumentach znajdujących się w konkretnym zbiorze uczącym. Zbiorem uczącym jest w tym przypadku zbiór stron należących do jednej kategorii. Można powiedzieć, że zbiór wszystkich stron z danej kategorii traktowany jest jak jeden wielki dokument, a słowa kluczowe w nim zawarte są po prostu zliczane. Zaletą tej metody jest jej prostota, wadą natomiast może być fakt, że w przypadku pliku html (strony) zawierającego bardzo dużą liczbę sztucznie powtarzających się tych samych słów słowo takie może uzyskać wysoką pozycję w hierarchii, mimo że nie pojawia się w pozostałych plikach (stronach).

**Metoda II** (która może być określona jako metoda „weryfikacji obecności”) opiera się na ustaleniu obecności danego słowa w konkretnym dokumencie (stronie WWW). Inaczej mówiąc, stwierdzane jest istnienie danego słowa na zasadzie „tak/nie”, bez rozpatrywania, ile razy to słowo występuje. Metoda wydaje się nie być czuła na sztuczne nagromadzenie jednego wyrazu

(np. w celu pozycjonowania strony WWW) w jakimś dokumencie. Jednakże, nie biorąc pod uwagę częstotliwości występowania poszczególnych słów w dokumentach, celowo pozbawiamy się pewnej informacji. To, co stanowić może zaletę tej metody, może być również jej wadą.

**Metoda III** (którą można określić mianem „hybrydowej”) stanowić ma z założenia połączenie obu powyższych metod (I i II), sumując ich zalety. W metodzie tej brana jest pod uwagę częstość występowania danego słowa w określonym dokumencie, lecz nie jako bezwzględne wystąpienia, ale procentowo, w stosunku do innych słów kluczowych z tego dokumentu. Z jednej więc strony nie ma utraty informacji o nasileniu występowania danego słowa (co może wynikać z mocnego skoncentrowania danej strony na jednym zagadnieniu, obiekcie, produkcie, itp.). Z drugiej strony liczba powtórzeń danego słowa nie jest brana pod uwagę wprost, ale jako procentowy udział w stosunku do innych słów z dokumentu, eliminowany jest w ten sposób efekt sztucznego nasycania konkretnej strony danym słowem.

Każda metoda daje w praktyce nieco różniące się od siebie wyniki. Zostały one zaprezentowane w rozdziale 6. Dzięki wykonanym eksperymentom zweryfikowano poszczególne metody, co pozwoliło na uzasadnienie wyboru jednej z nich do prac nad innymi aspektami opracowywanego systemu.

## 5. Aplikacja

### 5.1. Przygotowanie słowników kategorii

Na tym etapie analizy stron generowane są (charakterystyczne dla danej klasy decyzyjnej) słowniki zawierające słowa kluczowe. Słowa kluczowe dołączają następnie do ustalonego zbioru cech stron internetowych. Wydobycie słów kluczowych z dokumentu HTML jest zadaniem złożonym. W trakcie przetwarzania wstępnego dokumentu usuwane są zbędne znaczniki HTML, atrybuty HTML oraz wszystkie znaki niebędące słowami. Usuwa się także słowa, które zazwyczaj nie wnoszą żadnych informacji do tekstu, służą tylko łączeniu kolejnych treści (tzw. stop words). Listy takich słów dla języka angielskiego są ogólnie dostępne w Internecie. Dla języka polskiego konieczne jest utworzenie takiej listy samodzielnie. Następnie wszystkie słowa dostępne w dokumencie sprowadzane są do rdzenia słowotwórczego. Pozwala to rozpoznać występowanie danego słowa w tym samym dokumencie, ale w innej formie gramatycznej. Proces ten zwany *stemmingiem* lub lematyzacją jest stosunkowo nieskomplikowany dla języka angielskiego, jest jednak dość złożony w przypadku języka polskiego (ze względu na jego skomplikowaną składnię, fleksję oraz ortografię). W aplikacji skorzystano z projektu „morfologik”, który zawiera w sobie *stemmer* dla języka polskiego [11].

Na podstawie stałego zestawu cech strukturalnych, wizualnych, łączy oraz atrybutów tekstowych (rozszerzonych o słowniki słów kluczowych) tworzony jest wektor dla każdej strony internetowej. Wektory są normalizowane do przedziału (0,1).

### 5.2. Proces uczenia funkcji klasyfikującej

Dysponując zbiorem próbek stron WWW oraz ich reprezentacją w postaci wektora cech, przystępujemy do budowy klasyfikatorów przy pomocy algorytmu AdaBoost. Dla każdej zdefiniowanej kategorii konstruowany jest jeden tzw. „silny klasyfikator” będący kombina-

cją liniową „słabych klasyfikatorów” (najczęściej pojedynczych cech). Jego zadaniem będzie udzielenie odpowiedzi: czy i w jakim stopniu badana próbka testowa należyć będzie do tej kategorii, czy też bliżej jej będzie do całej reszty traktowanej jako inna kategoria. Będziemy tu mieć więc do czynienia z problemem decyzji o przynależności do jednej z dwóch klas. Nazwa „słaby klasyfikator” nawiązuje do faktu, że wymagamy od niego skuteczności tylko nieco lepszej niż losowa ( $>50\%$ ). W tym kontekście cecha, która pozwala nam z prawdopodobieństwem lepszym niż  $50\%$  wnioskować o przynależności strony do danej kategorii, spełnia wymagania słabego klasyfikatora. Silny klasyfikator związany z daną kategorią będzie dawał odpowiedź, czy dana próbka będzie należała do tej kategorii, czy też bliżej jej do całej reszty.

Wykorzystywany algorytm opublikowany został w 1995 roku (Y. Freund, R. Schapire – [12]). Autorzy udowodnili, że błąd silnego klasyfikatora końcowego maleje wykładniczo w kierunku zera. Jest to algorytm iteracyjny, który w kolejnych krokach wybiera najlepsze „słabe” klasyfikatory, opierając się na zbiorze uczącym i dostępnych „słabych” klasyfikatorach. W każdym kolejnym kroku słabe klasyfikatory są dobierane tak, żeby najbardziej skupiały się na przypadkach złego sklasyfikowania (algorytm po każdej rundzie zwiększa wagi źle sklasyfikowanych danych). Dodatkowo każdemu wybranemu klasyfikatorowi przypisywana jest waga określająca jego ważność. Po zakończeniu działania algorytmu (po  $T$  krokach) otrzymujemy klasyfikator końcowy  $H_T$ , którego obliczamy korzystając ze wzoru:

$$H_T(x) = \begin{cases} 1 & \sum_{t=1}^T \alpha_t h_t(x) \geq \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \alpha_t \\ 0 & \text{w przeciwnym razie} \end{cases}$$

### Pseudokod algorytmu

1. Mając zbiór próbek stron  $(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)$ , gdzie  $y_i = 0, 1$  odpowiednio dla przykładów negatywnych (strony należące do wszystkich oprócz rozpatrywanej kategorii) i pozytywnych (strony należące do danej kategorii), każdemu elementowi przypisz wagę

$$d_i^{(1)} = \frac{1}{N}, i = 1, \dots, N$$

2. Dla kroków  $t = 1, \dots, T$ ,

- 1) Wybierz klasyfikator  $h_t : X \rightarrow \{0, +1\}$  minimalizujący błąd

$$\varepsilon_t = \sum_{n=1}^N d_n^{(t)} [y_n \neq h_t(x_n)]$$

- 2) Oblicz  $\alpha_t = \frac{1}{2} \ln \frac{1 - \varepsilon_t}{\varepsilon_t}$

- 3) Popraw wagi  $d_i^{(t+1)} = \frac{d_i^{(t)} \exp\{-\alpha_t y_i h_t(x_i)\}}{Z_t}$ , gdzie  $Z_t$  jest stałą normalizującą, taką, że  $\sum_{i=1}^N d_i^{(t+1)} = 1$ .

- 4) Przerwij, jeśli  $\varepsilon_t = 0$  lub  $\varepsilon_t \geq 0,5$  i  $T = t - 1$ , jeśli nie, wróć do kroku 2

- 5) Klasyfikator końcowy  $H_T(x) = \begin{cases} 1 & \sum_{t=1}^T \alpha_t h_t(x) \geq \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \alpha_t \\ 0 & \text{w przeciwnym razie} \end{cases}$

## 6. Wyniki eksperymentów

W rozdziale zamieszczono wyniki eksperymentów polegających na wytrenowaniu klasyfikatorów z wykorzystaniem 200 stron dla każdej z 9 klas (w sumie 1800 stron), a następnie przetestowaniu skuteczności klasyfikacji za pomocą 30 stron dla każdej kategorii (270 stron) nie wykorzystywanych w procesie uczenia.

Rozpatrywano trzy warianty trenowania klasyfikatora, zależnie od zbioru cech, na podstawie których odbywał się ten proces. W każdym przypadku brany pod uwagę był ten sam, ogólny zestaw właściwości, składający się z cechy tekstowych, strukturalnych, wizualnych oraz linków (łączy). Różnica polegała na wyborze metody zbierania słów kluczowych, w oparciu o które konstruowany był zestaw cech tekstowych.

W pierwszym z rozpatrywanych przypadków wykorzystano metodę I (ogólną). Wyniki zaprezentowano w tabeli 1.

Tabela 1

Tabela krzyżowa skuteczności klasyfikacji stron testowych dla metody I

Rozpoznanie \ Kategorie	Artykuł	Blog	E-sklep	FAQ	Forum internetowe	Katalog	Portal	Strona domowa	Strona firmowa	Niesklasyfik.
Artykuł	70%	3,33%	0%	0%	3,33%	0%	13,33%	0%	6,67%	3,33%
Blog	3,33%	76,67%	0%	0%	0%	0%	10%	3,33%	6,67%	0%
E-sklep	0%	0%	63,33%	6,67%	0%	3,33%	6,67%	6,67%	6,67%	6,67%
FAQ	13,33%	0%	6,67%	30%	3,33%	0%	16,67%	3,33%	20%	6,67%
Forum Internet.	0%	3,33%	6,67%	33,33%	46,67%	0%	3,33%	3,33%	3,33%	0%
Katalog	13,33%	6,67%	16,67%	0%	0%	50%	10%	3,33%	0%	0%
Portal	20%	10%	3,33%	0%	0%	3,33%	43,33%	0%	20%	0%
Strona domowa	0%	3,33%	6,67%	3,33%	0%	0%	3,33%	26,67%	26,67%	30%
Strona firmowa	3,33%	10%	0%	3,33%	0%	6,67%	6,67%	26,67%	30%	13,33%

W tabeli 2 przedstawiono wyniki drugiego eksperymentu (również dla metody I). Obraza ona prawdopodobieństwa dobrego sklasyfikowania próbki, jeśli weźmie się pod uwagę jej wystąpienie w pierwszych dwóch lub pierwszych trzech najlepszych propozycjach zwróconych przez klasyfikatory. Miarą przynależności do danej klasy jest tutaj różnica

$$\sum_{t=1}^T \alpha_t h_t(x) - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \alpha_t, \text{ (pod warunkiem, że jest ona nieujemna).}$$

Jak można zauważyć, skuteczność rozpoznawania wszystkich klas jest znacząco lepsza. Jednak poprawa prawidłowości klasyfikacji nie jest jednakowa. Największą poprawę zaobserwowano dla kategorii: E-sklep (o 20%), Forum internetowe (20%), Portal (37%). Wyniki dla kategorii: FAQ, Strona domowa i Strona firmowa są wciąż najslabsze.

Tabela 2

### Skuteczność klasyfikacji stron testowych dla metody I

Kategorie \ Skuteczność	Artykuł	Blog	E-sklep	FAQ	Forum internetowe	Katalog	Portal	Strona domowa	Strona firmowa	Średnia skuteczność
Pierwsze dwie propozycje	80%	83,33%	83,33%	36,67%	66,67%	63,33%	80%	33,33%	43,33%	63%
Pierwsze trzy propozycje	90%	83,33%	83,33%	46,67%	70%	66,67%	93,33%	33,33%	43,33%	68%

Wyniki wskazują na poprawę rozpoznawania większości kategorii (w granicach 10-13%), jednak w przypadku kategorii: Blog, E-sklep, Strona domowa, Strona firmowa, nie nastąpiła poprawa.

W kolejnym eksperymencie wykorzystano kolejną metodę selekcji słów kluczowych – metodę II. Wyniki zaprezentowano w tabeli 3.

Tabela 3

### Tabela krzyżowa skuteczności klasyfikacji stron testowych dla metody II

Rozpoznanie \ Kategorie	Artykuł	Blog	E-sklep	FAQ	Forum internetowe	Katalog	Portal	Strona domowa	Strona firmowa	Niesklasyfik.
Artykuł	56,67%	13,33%	0%	3,33%	0%	0%	20%	0%	6,67%	0%
Blog	6,67%	80%	3,33%	0%	0%	0%	3,33%	0%	6,67%	0%
E-sklep	0%	0%	50%	0%	3,33%	6,67%	6,67%	6,67%	16,67%	10%
FAQ	3,33%	0%	0%	43,33%	6,67%	3,33%	13,33%	6,67%	16,67%	6,67%
Forum Internet.	3,33%	0%	3,33%	13,33%	56,67%	0%	13,33%	3,33%	6,67%	0%
Katalog	0%	6,67%	16,67%	0%	0%	56,67%	13,33%	3,33%	0%	3,33%
Portal	3,33%	13,33%	0%	0%	0%	3,33%	63,33%	0%	16,67%	0%
Strona domowa	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	30%	30%	40%
Strona firmowa	0%	3,33%	3,33%	0%	0%	6,67%	6,67%	26,67%	36,67%	16,67%

Analogicznie do pierwszego eksperymentu również w tym przypadku sprawdzono prawdopodobieństwo dobrego sklasyfikowania próbki, biorąc pod uwagę jej wystąpienie w pierwszych dwóch lub pierwszych trzech najlepszych propozycjach zwróconych przez klasyfikatory. Wyniki zamieszczono w tabeli 4.

Tabela 4

**Skuteczność klasyfikacji stron testowych dla metody II**

Kategorie \ Skuteczność	Artykuł	Blog	E-sklep	FAQ	Forum internetowe	Katalog	Portal	Strona domowa	Strona firmowa	Średnia skuteczność
Pierwsze dwie propozycje	80%	80%	73,33%	60%	70%	83,33%	86,67%	33,33%	56,67%	69%
Pierwsze trzy propozycje	96,67%	83,33%	76,67%	63,33%	76,67%	83,33%	93,33%	33,33%	60%	74,07%

W trzecim eksperymencie, do trenowania klasyfikatora, wykorzystano cechy, wśród których znalazły się słowa kluczowe uzyskane metodą III („hybrydową”). Wyniki zamieszczono w tabeli 5.

Tabela 5

**Tabela krzyżowa skuteczności klasyfikacji stron testowych dla metody III**

Rozpoznanie \ Kategorie	Artykuł	Blog	E-sklep	FAQ	Forum internetowe	Katalog	Portal	Strona domowa	Strona firmowa	Niesklasyfik.
Artykuł	50%	13,33%	0%	3,33%	0%	0%	26,67%	0%	6,67%	0%
Blog	10%	76,67%	0%	0%	0%	0%	10%	0%	3,33%	0%
E-sklep	3,33%	0%	56,67%	0%	0%	10%	0%	6,67%	13,33%	10%
FAQ	0%	3,33%	3,33%	43,33%	6,67%	0%	10%	6,67%	16,67%	10%
Forum Internet.	6,67%	0%	0%	6,67%	63,33%	0%	13,33%	3,33%	6,67%	0%
Katalog	0%	6,67%	13,33%	0%	0%	53,33%	16,67%	6,67%	0%	3,33%
Portal	10%	13,33%	0%	0%	0%	0%	50%	3,33%	23,33%	0%
Strona domowa	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	30%	30%	40%
Strona firmowa	0%	3,33%	3,33%	0%	0%	0%	6,67%	26,67%	36,67%	23,33%

Tabela 6 prezentuje prawdopodobieństwa dobrego sklasyfikowania próbki, biorąc pod uwagę jej wystąpienie w pierwszych dwóch lub pierwszych trzech najlepszych propozycjach zwróconych przez klasyfikatory.

Tabela 6

### Skuteczność klasyfikacji stron testowych dla metody III

Kategorie / Skuteczność	Artykuł	Blog	E-sklep	FAQ	Forum internetowe	Katalog	Portal	Strona domowa	Strona firmowa	Średnia skuteczność
Pierwsze dwie propozycje	83,33%	83,33%	70%	53,33%	66,67%	76,67%	83,33%	33,33%	53,33%	67,04%
Pierwsze trzy propozycje	100%	86,67%	73,33%	60%	76,67%	76,67%	93,33%	33,33%	53,33%	73 %

Porównanie średniej skuteczności dla pierwszej, pierwszych dwóch oraz pierwszych trzech propozycji, dla poszczególnych metod zbierania słów kluczowych, przedstawione zostało w tabeli 7.

Tabela 7

### Skuteczność klasyfikacji stron testowych dla różnych metod

Metody / Średnia skuteczność	Metoda I	Metoda II	Metoda III
Pierwsza propozycja	49%	52,59%	51%
Pierwsze dwie propozycje	63%	69%	67,04%
Pierwsze trzy propozycje	68%	74,07%	73 %

Jak można zauważyć, średnia skuteczność klasyfikacji jest w przypadku metody II znacząco wyższa, niż w przypadku metody I (ogólnej) oraz nieznacznie wyższa w porównaniu z metodą III („hybrydową”). Różnica występuje dla pierwszej, pierwszych dwóch oraz pierwszych trzech propozycji.

## 7. Wnioski

W artykule omówiono zastosowanie metody boostingu w klasyfikacji stron internetowych. Skupiono się na wpływie rodzaju metody doboru słów kluczowych opisujących dokumenty, na skuteczność procesu klasyfikacji. Jest to jeden z czynników, który obok

wyboru klas, na jakie dzielone są strony, różnorodności cech opisujących strony, doboru stron do zbioru uczącego oraz rozmiaru tego zbioru, może rzutować na poprawność używanych rezultatów.

Jak wynika z przeprowadzonych eksperymentów, wybór metody selekcji słów kluczowych podczas tworzenie zestawu cech tekstowych stanowiących dane wejściowe dla procesu trenowania klasyfikatora, ma istotne znaczenie. Pomimo iż cechy tekstowe stanowią tylko jedną z czterech grup rozpatrywanych cech, zmiana metody doboru słów kluczowych może skutkować zmianą skuteczności na poziomie od 2 do 7 %. W przypadku zmiany metody I (ogólnej) na metodę II, dla pierwszych trzech propozycji, poprawa wynosi ponad 7%, co stanowi zmianę poprawności wyników z 68% na 74,04%, a więc o ponad 1/10.

Kolejne eksperymenty skupiać się będą na dalszej poprawie skuteczności poprzez zastosowanie różnych metod zbierania słów kluczowych dla różnych kategorii. Można bowiem zaobserwować, że choć średnia skuteczność przemawia na korzyść metody II, to różne metody charakteryzują się różną skutecznością zależnie od rozpatrywanej kategorii strony (przed uśrednieniem) i decyzja o wyborze metody nie musi być tak oczywista. Chociaż więc najwyższą średnią skuteczność wykazuje metoda dokumentowa, to połączenie różnych metod (dla odpowiednich klas) może dać jeszcze lepsze rezultaty.

## Literatura

- [1] Dong L., Watters C., Duffy J., Shepherd M., *An Examination of Genre Attributes for Web Page Classification. Proceedings of the 41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, HICSS 2008.
- [2] Yin S., Wang F., Xie Z., Qiu Y., *Study on Web-Page Classification Algorithm Based on Rough Set Theory*, Proceedings of ISIP'2008, 202-206.
- [3] Czajkowski K., *Reguły decyzyjne i bazy danych w klasyfikacji stron internetowych*, Studia Informatica, Gliwice, Vol. 30, No. 2A(83), 2009, 355-372.
- [4] Santi M., *Some issues in automatic genre classification of web pages*, Proceedings of JADT 2006.
- [5] Tsukada M., Washio T., Metoda H., *Automatic Web-Page Classification by Using Machine Learning Methods*, Web Intelligence: Research and Development, LNAI 2001, Springer-Verlag, 303-313.
- [6] Holden N., Freitas A.A., *Web Page Classification with an Ant Colony Algorithm*, Parallel problem solving from nature - PPSN VIII, LNCS 3242, Springer-Verlag 2004, 1092-1102.
- [7] Fernandez V. F., Unanue R.M., Herranz S.M., Rubio A.C., *Naive Bayes Web Page Classification with HTML Mark-Up Enrichment*, International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology, 2006. ICCGI '06.
- [8] Xue W., Huang W., Lu Y., *Application of SVM in Web Page Categorization*, IEEE International Conference on Granular Computing, 2006, 469-472.
- [9] Shepherd M., Watters C., *Identifying Web Genre: Hitting A Moving Target*, Proc. of the WWW2004 Conference. Workshop on Measuring Web Search Effectiveness: The User Perspective, New York, 18 May 2004.



- [10] Meyer zu Eissen S., Stein B., *Genre Classification of Web Pages: User Study and Feasibility Analysis*, In: Biundo S., Fruhwirth T., Palm G. (Eds.): *Advances In Artificial Intelligence*, Springer 2004, 256-269.
- [11] *Strona projektu Morfologik* (<http://morfologik.blogspot.com>).
- [12] Freund Y., Schapire R.E., *A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting*, In *Computational Learning Theory: Eurocolt '95*, Springer-Verlag, 1995, 23-37.
- [13] Sebastiani F., Sperduti A., Valdambrini N., *An improved boosting algorithm and its application to automated text categorization*, Centre National de la Recherche Scientifique, 2000.
- [14] Gąciarz T., Czajkowski K., Niebylski M., Szawernoga R., *Klasyfikacja stron internetowych z wykorzystaniem algorytmu boostingu*, *Studia Informatica* Vol. 32, No. 2A (96), 2011.
- [15] Gąciarz T., Czajkowski K., Niebylski M., *Adaboost ranking results improvement by pairwise classifiers for web page classification*, Czachórski T., Kozielski S., Stańczyk U. (Eds.), [in:] *Advances in Intelligent and Soft Computing*, vol. 103, *Man-Machine Interactions 2*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011.



TOMASZ JAROSZ\*

## PROBLEMATYKA ANALIZY DANYCH W MAGISTRALI CAN W POJAZDACH SAMOCHODOWYCH

---

### THE ISSUE OF DATA ANALYSIS ON THE CAN AUTOMOTIVE VEHICLES

#### Streszczenie

Artykuł zawiera opis magistrali danych CAN stosowanej w pojazdach, podstawowe informacje o protokole, a także opis zrealizowanego analizatora CAN i przykład jego zastosowania. Badania i analizy zostały wykonane w warunkach drogowych i laboratoryjnych w pojeździe Skoda Fabia z silnikiem o zapłonie samoczynnym.

*Słowa kluczowe: protokół CAN, analiza danych, analizator CAN*

#### Abstract

The paper contains a description of the CAN bus technology used in vehicles, basic information about the protocol and a description of the realized CAN analyzer and an example of its use. Research and analysis were performed in the laboratory and road conditions in the vehicle with the Skoda Fabia diesel engine.

*Keywords: CAN bus protocol, data analysis, CAN analyzer*

---

\* Mgr inż. Tomasz Jarosz, Instytut Teleinformatyki, Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki, Politechnika Krakowska.

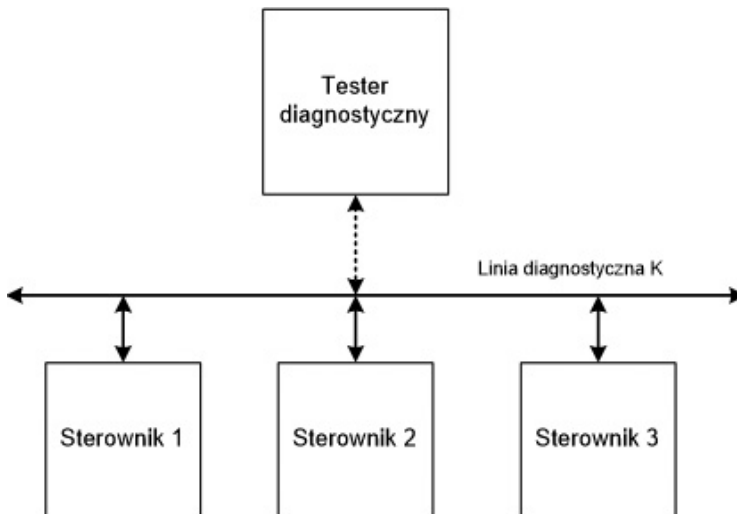
## 1. Wstęp

Lata 80. i 90. to przełom dla pojazdów motoryzacyjnych. Wiodące firmy motoryzacyjne zaczęły implementować w swoich pojazdach innowacyjne rozwiązania mechatroniczne mające na celu poprawę osiągnięć, bezpieczeństwa, komfortu oraz standardów ekologicznych.

Do wspomagania pracy systemów mechanicznych zaczęto wprowadzać coraz bardziej rozbudowane układy elektroniczne, które odpowiedzialne są za pracę poszczególnych układów i podzespołów pojazdu. Przykładem takiego układu może być elektroniczny program stabilizacji ESP (Electronic Stability Program) tj. układ elektroniczny stabilizujący tor jazdy samochodu podczas pokonywania zakrętu, przejmujący kontrolę nad połączonymi układami ABS i ASR. Zaistniała zatem potrzeba sprawnej komunikacji pomiędzy rozbudowanymi modułami sterującymi poszczególnymi podzespołami pojazdu, a także wprowadzenie centralnej jednostki sterującej i nadzorującej pracę wszystkich układów.

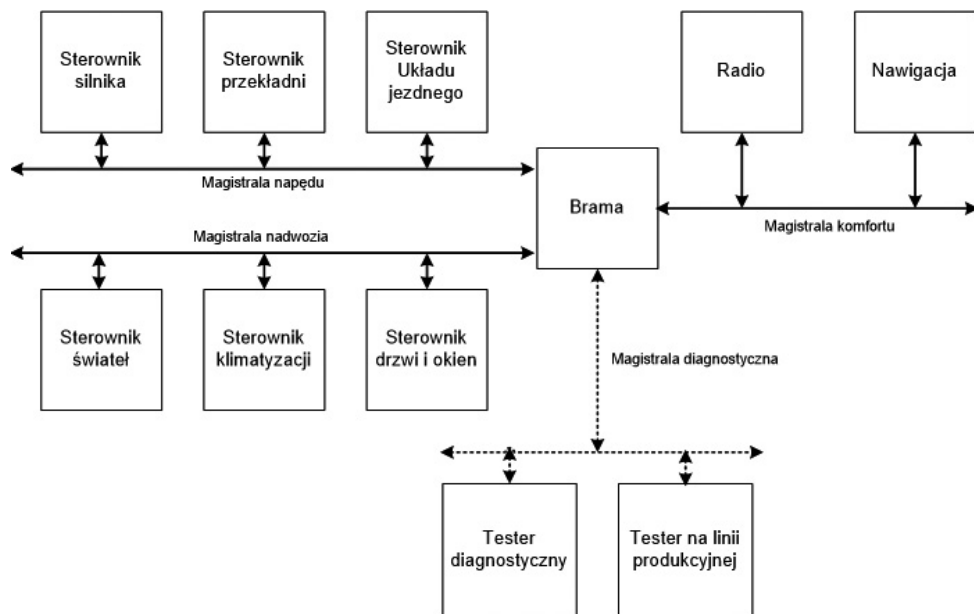
Pierwsze systemy pokładowe w pojazdach wymieniały dane analogowo w konfiguracji punkt-punkt. Dane cyfrowe z systemów mikroprocesorowych były konwertowane na postać analogową i przesyłane dużą ilością połączeń. Skutkowało to nadmiernym wzrostem liczby przewodów i złączy elektrycznych. Sygnały analogowe były następnie konwertowane ponownie na postać cyfrową, zrozumiałą dla systemu mikroprocesorowego. Zatem zachodziła podwójna konwersja sygnału (*a/c* i *c/a*), która po wprowadzeniu cyfrowej transmisji danych okazała się zbędna i została wyeliminowana.

Pierwsze transmisje danych cyfrowych służyły jedynie do odczytu zarejestrowanych w elektronicznych modułach usterek (skanowanie diagnostyczne). Skanery (testery) diagnostyczne komunikowały się z systemami wyposażonymi w wewnętrzną pamięć usterek. Transmisja danych była w trybie *off-board*, tj. na zewnątrz, nie stosowano jej do wymiany danych pomiędzy poszczególnymi systemami elektronicznymi pojazdu. Na rys. 1 przedsta-



Rys. 1. Topologia magistrali diagnostycznej K

Fig. 1. Diagnostic K bus topology



Rys. 2. System transmisji danych we współczesnym pojeździe

Fig. 2. Data transmission system in modern vehicle

wiono topologię działania magistrali diagnostycznej. Zewnętrzny tester diagnostyczny za pośrednictwem wspólnej linii diagnostycznej K komunikuje się ze sterownikami poszczególnych układów elektronicznych.

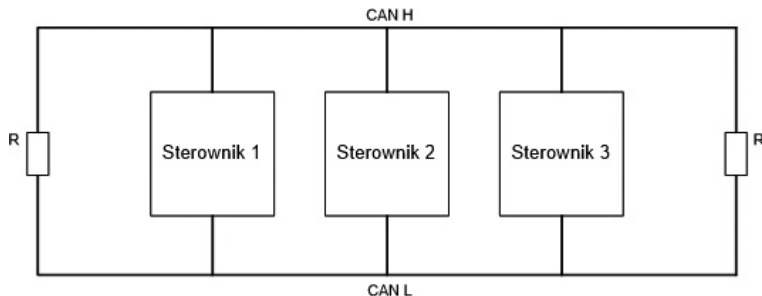
Konieczność szybkiej wymiany danych w zakresie skomplikowanej infrastruktury przyczyniła się do tego, że firmy motoryzacyjne skupiły się na wprowadzeniu szybkich magistrali cyfrowych, obejmujących swym zasięgiem kilkadziesiąt, a nawet kilkaset sterowników połączonych ze sobą za pomocą magistral, będących pod kontrolą specjalistycznego oprogramowania pokładowego (rys 2).

Zaowocowało to zmniejszeniem liczby przewodów pomiędzy modułami, a stosując cyfrową wymianę danych odporniejszą na zakłócenia, zmniejszono problem występujący w trakcie przesyłania danych drogą analogową. Wyeliminowało to zbędne przetworniki AD i DA służące jedynie do transmisji analogowej danych.

## 2. Magistrala CAN

Światowym liderem obecnie instalowanych magistral cyfrowych jest standard CAN (Controller Area Network) opracowany przez firmę Robert Bosch GmbH w 1986 r. [1]. Standard CAN to określenie magistrali i protokołu transmisji danych. Magistrala CAN to magistrala rozgłoszeniowa, nie ma wyodrębnionej jednostki nadrzędnej.

Razem ze standardem ISO 11898 i standardem SAE J2284 protokół CAN stał się normą międzynarodową do zastosowań w samochodach osobowych.



Rys. 3. Topologia magistrali CAN

Fig. 3. CAN Bus topology

W magistrali CAN nie ma wyodrębnionej jednostki nadrzędnej, dlatego należy ona do grupy magistral typu *multi-master*. Komunikaty CAN może nadawać dowolny moduł podłączony do magistrali i każdy system jest równorzędny przy inicjowaniu transmisji. W danej chwili tylko jedna stacja może pełnić rolę nadajnika. Komunikacja w standardzie CAN ma charakter rozgłoszeniowy, tzn. komunikaty nadawane na magistralę obierane są przez wszystkie podłączone do niej moduły (sterowniki). Również moduł wysyłający odbiera swoją wiadomość. Wiadomość CAN jest akceptowana lub ignorowana w zależności od tego czy odbiorca jest jej adresatem.

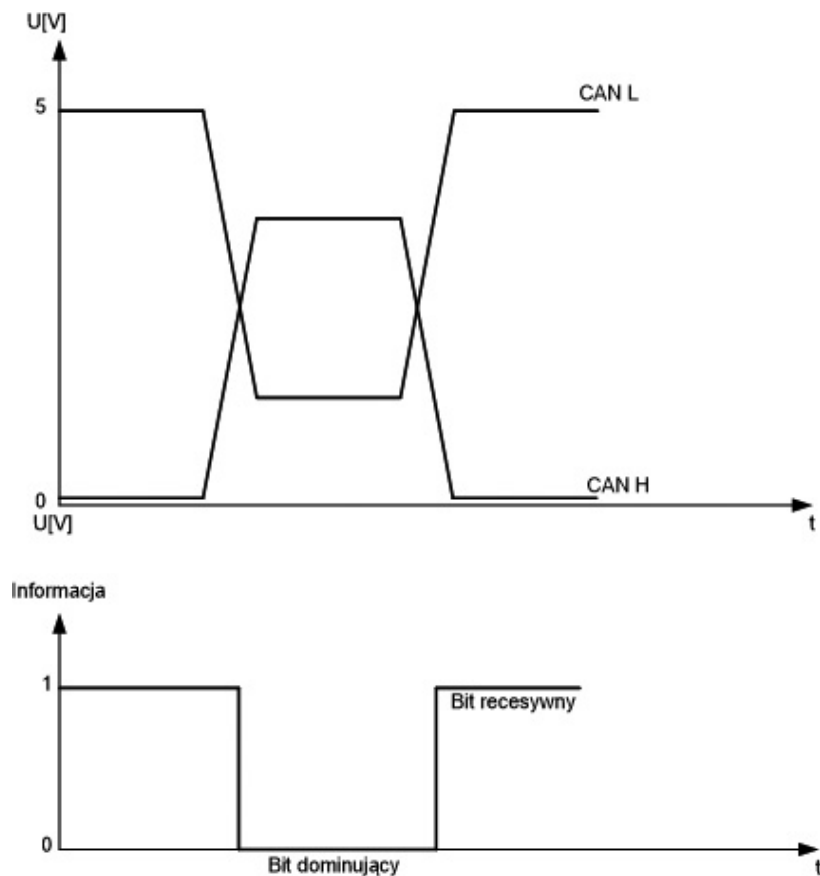
Ze względu na rozgłoszeniowy charakter transmisji oraz dużą ilość danych pojawiających się na magistrali, każdy moduł ma wbudowany sprzętowy filtr. Dzięki niemu moduł odbiera tylko interesujące go wiadomości.

Sieć CAN wyróżnia trzy warstwy w modelu komunikacyjnym:

1. Warstwa fizyczna:
  - medium transmisyjne,
  - poziom napięć sygnałów,
  - prędkość przesyłu;
1. Warstwa transferowa:
  - format wiadomości,
  - detekcja i blokada błędów,
  - arbitraż,
  - potwierdzanie odbioru wiadomości;
1. Warstwa obiektowa:
  - status wiadomości,
  - filtrowanie wiadomości.

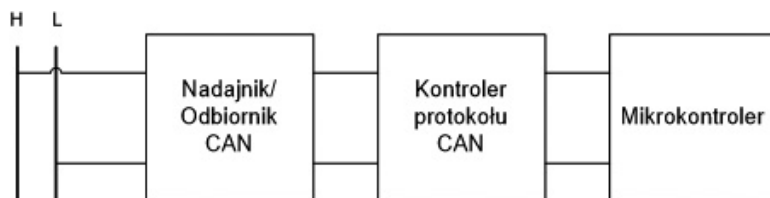
Warstwa fizyczna definiuje medium transmisyjne dla magistrali CAN, którą tworzą dwa przewody wykonane w formie skrętki zakończone impedancjami. Stan logiczny magistrali jest określany na podstawie różnicy napięć pomiędzy linią CAN H i CAN L (rys. 4). Fizyczny transfer danych to kodowanie informacji cyfrowej metodą NRZ (*non-return-to-zero*). Kodowanie to odporne jest na błędy, zakłócenia i niezawodne dzięki obsłudze sprzętowej i kontroli błędów. W celu wykrycia błędów transmisji wysyłany jest wielomian korekcyjny CRC zwany też sumą kontrolną.

Sieć CAN stosuje metodę SCMA/CA dostępu do magistrali z unikaniem kolizji oraz wykrywaniem błędów transmisji. Metoda CSMA/CA wymaga czasu reakcji wszystkich sterowników, nie dłuższego od czasu trwania 1 bitu. Każde urządzenie sterujące może nadawać, jeśli magistrala jest wolna przynajmniej przez czas trwania co najmniej trzech kolejnych bitów [5].



Rys. 4. Wartości napięcia i stan logiczny magistrali

Fig. 4. Voltage and bus logic state



Rys. 5. Struktura węzła magistrali CAN

Fig. 5. The structure of the CAN bus node

Bit oznaczający wartość logicznego zera jest dominujący, jedynka logiczna jest bitem recesywnym. Pojawienie się logicznego zera jest ważniejsze od obecnej tam logicznej jedynki i wykorzystywane jest do przy pierwszeństwie dostępu do magistrali. Jeśli dwa moduły w tym samym czasie chcą uzyskać dostęp do magistrali, to pierwszeństwo uzyskuje jednostka generująca więcej bitów dominujących, czyli logicznych zer.

Każdy sterownik (rys. 3) podłączony do magistrali CAN, nazywany również węzłem magistrali CAN, składa się z trancivera CAN (nadajnik/odbiornik), który realizuje funkcję galwanicznego połączenia sterownika do magistrali. Element ten odpowiada za konwersję sygnałów zerowyjedynekowych na postać różnicową oraz ochronę przed zwarciami i przepięciami występującymi na medium transmisyjnym. Kontroler protokołu CAN odpowiada za kontrolę przestrzegania reguł standardu CAN, obsługę błędów i dostępu do magistrali. Mikrokontroler steruje i kontroluje pracę całego węzła (rys. 5).

Warstwa transferowa sieci CAN definiuje format wiadomości, detekcję i blokadę błędów, arbitraż oraz potwierdzanie odbioru wiadomości

Identyfikator 11 lub 29 bit	Bity kontrolne 7 bit	Dane 0...8 bajt	CRC 15 bit
-----------------------------	----------------------	-----------------	------------

Rys. 6. Budowa ramki CAN

Fig. 6. Construction of CAN frames

Ramka CAN zaczyna się od bitu startu, który określa początek komunikatu i jest to bit dominujący [2]. Następnie pojawia się identyfikator. Pole to zajmuje 11 bitów dla standardu CAN 2.0A lub 29 bitów dla CAN2.0B. Na podstawie identyfikatora węzły prowadzą filtrację ramek. Filtracja akceptacyjna komunikatów odbywa się sprzętowo, dzięki temu obciążenie procesora jest mniejsze. Identyfikator informuje także o priorytecie komunikatu – im mniejsza liczba, tym większy priorytet. Jeśli jest kolizja przy dostępie do magistrali, wówczas wygrywa komunikat o wyższym priorytecie. Po wykryciu kolizji przesyłanie komunikatu z wyższym priorytetem jest kontynuowane a nadajnik komunikatu z niższym priorytetem przerywa transmisję i automatycznie powtarza ją zaraz po zwolnieniu magistrali. Pole trzecie to pole kontrolne, które określa, ile bajtów danych znajduje się w ramce oraz definiuje, czy jest to ramka zdalna. Ramka zdalna to specjalna ramka, w której jest zwykły identyfikator i nie zawiera danych. Za pomocą tej ramki jeden sterownik żąda danych od innego sterownika [3]. Ostatnie pole to CRC Cyclic Redundancy Check (15-bitowe pole sumy kontrolnej). Suma kontrolna liczona jest na podstawie wszystkich bitów poprzedzających pole sumy kontrolnej. Pole sumy kontrolnej kończy bit znajdujący się zawsze w stanie recesywnym. Czas trwania transmisji jednego komunikatu z ośmioma bajtami danych, z szybkością 500 kbit/s, to 225  $\mu$ s (identyfikator 11 bitowy) lub 260  $\mu$ s (identyfikator 29 bitowy).

Warstwa obiektowa opisuje metody filtrowania przesyłanych komunikatów CAN, określa także, czy jest to zwykły komunikat, czy też żądanie pobrania informacji.

Magistrala CAN jest szybka i można ją wykorzystać wszędzie tam, gdzie jest wymagana niezawodna komunikacja. Dodawanie nowych modułów CAN nie wymaga rekonfiguracji całej sieci.

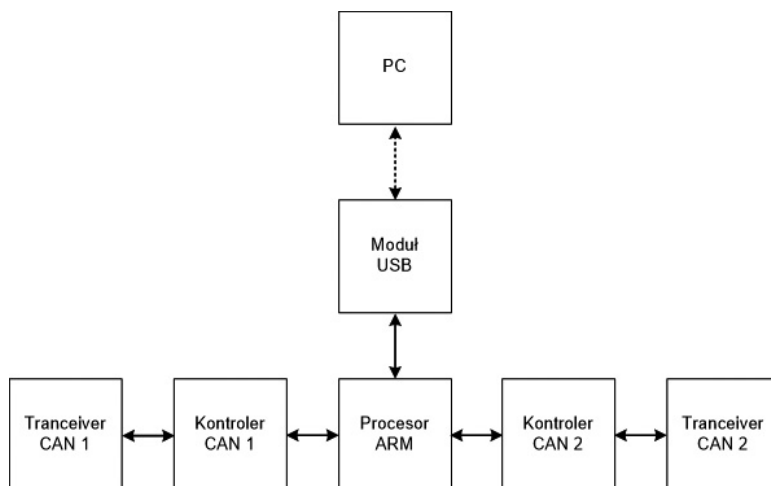


### 3. Analizator CAN

Analizator CAN powstał jako zaawansowane narzędzie do identyfikacji, diagnozy i analizy magistrali CAN w technice samochodowej. Przy jego pomocy można wykryć defekty okablowania magistrali CAN, takie jak: nieprawidłowe przewody, zwarcia do masy lub plusa zasilania oraz problemy z impedancją.

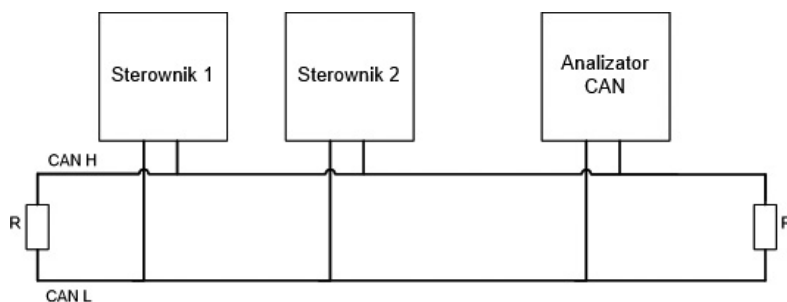
Analizator CAN został zaprojektowany w oparciu o wydajny 32bitowy procesor ARM. Do obsługi magistrali CAN zastosowano dwa układy z możliwością dopasowania impedancji do badanej magistrali CAN. Zastosowanie modułu transmisji USB znacząco zwiększyło prędkość transmisji pomiędzy analizatorem CAN a komputerem nadzorującym jego pracę, co w przypadku obecnie stosowanych magistrali CAN o prędkości 500 kb/s lub więcej ma duże znaczenie.

Tester CAN, pracując w trybie standardowym, ma możliwość identyfikacji magistrali i śledzenia wszystkich ramek pojawiających się na szynie CAN. Tester CAN po podłącze-



Rys. 7. Budowa analizatora CAN

Fig. 7. The construction of CAN analyzer



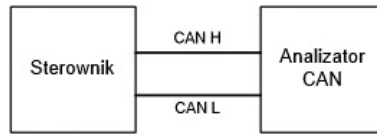
Rys. 8. Topologia w trybie standardowym

Fig. 8. Topology in standard mode

niu do magistrali CAN automatycznie skanuje wykrywając standardowe prędkości transmisji i dopasowuje się do nich. W nowoczesnych pojazdach ilość informacji przesyłanych na magistrali CAN jest ogromna, dlatego w analizatorze jest wykorzystywana filtracja akceptacyjna komunikatów. Funkcjonalność ta pozwala zdefiniować zakresy lub też pojedyncze identyfikatory ramek CAN, na których analizator ma operować. Poprawia to zdecydowanie ergonomię pracy filtrując wiele niepotrzebnych informacji. Przy pomocy tego skanera mamy możliwość wyodrębnić ramki CAN generowane przez dane urządzenie, a znając takie dane możemy diagnozować poprawność pracy czy nawet w przypadku jego usterki je emulować.

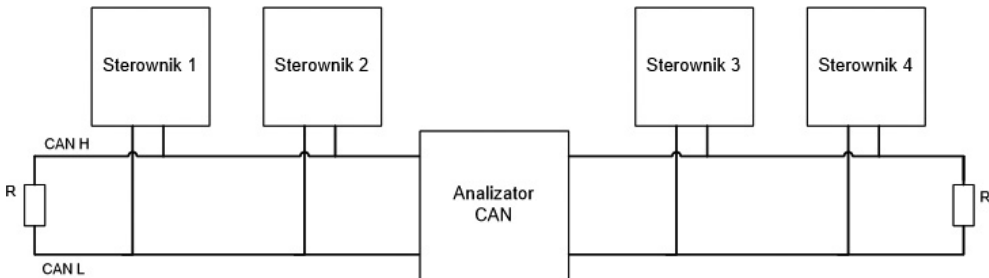
Analizator CAN może służyć także jako generator ramek CAN; taka funkcjonalność będzie bardzo pomocna w diagnozie modułów CAN. Jeśli w trybie skanera wyodrębnimy poprawne zapytania, to wykorzystując tryb generowania ramek możemy przeprowadzić procedurę diagnozy modułu. Procedura ta może być przeprowadzona wewnątrz pojazdu lub na stole diagnostycznym, a polegać będzie na wysyłaniu zapytań CAN i obserwowaniu odpowiedzi z badanego modułu CAN.

Analizator posiada dwa interfejsy CAN i możemy go uruchomić w trybie mostu. W tym trybie możemy połączyć dwie różne magistrale razem lub rozdzielić jedną na dwa segmenty. Pozwoli nam to na kontrolowanie komunikatów CAN przekazywanych pomiędzy segmentami magistrali, a za pomocą tablicy odwzorowań także modyfikację przekazywanej ramki. Ramka przechwycona w pierwszym segmencie jest modyfikowana według odwzorowania i przekazywana do drugiego segmentu. Wbudowana jest też funkcjonalność, która pozwala kontrolować poprawność transmisji, sygnalizuje problemy z komunikacją w przypadku przecięcia przewodu, zwarcia, złego dopasowania impedancji lub też ciągu błędnych transmisji sugerujących problem z danym modułem CAN.



Rys. 9. Topologia w trybie off-line

Fig. 9. Topology in off-line mode



Rys. 10. Topologia w trybie mostu

Fig. 10. Topology in bridge mode

#### 4. Analiza magistrali CAN

Jako przykład praktycznego zastosowania analizatora poniżej przedstawiono badania wykonane w samochodzie Škoda Fabia. Podczas postoju i jazdy analizator CAN śledził wiadomości przesyłane na magistrali CAN. Obserwowano zmieniające się wartości, ich zależności od stanu zapłonu, stanu pracy silnika i prędkości pojazdu. Poniższa tabela przedstawia zarejestrowane ramki CAN w formacie szesnastkowym.

Tabela 1

Przykładowe dane zarejestrowanych ramek w pojeździe

ID	Długość	Dane
271	1	87
351	8	00 00 00 00 75 7B 10
380	8	10 ff 00 04 80 00 00 00
480	8	50 2a 00 00 00 00 10 6a
488	8	bd 00 00 7b a6 00 00 60
280	8	d2 00 00 00 00 ff ff 00
288	8	5e ff 37 ff 00 65 00 00

Ramka z ID 0x271 ma długość jednego bajta i informuje o statusie zapłonu. Po wykonanych testach ze stacyjką można było zaobserwować następujące stany:

- 0x11 – stacyjka odblokowana, klucz w pozycji 0,
- 0x01 – stacyjka odblokowana, klucz w pozycji 1,
- 0x05 – stacyjka odblokowana, klucz w pozycji 2,
- 0x07 – stacyjka odblokowana, klucz w pozycji 3,
- 0x07 – stacyjka odblokowana, klucz w pozycji 4 rozrusznik kręci.

Natomiast w trakcie poruszania się pojazdu zaobserwowano ramkę CAN z wartościami zmieniającymi się w zależności od kierunku i prędkości pojazdu. Ramka z ID 0x351 zawiera informacje o prędkości pojazdu; na pozycji 0 zapisany jest kierunek jazdy: 00 – do przodu, 02 – do tyłu; na pozycji 1 i 2 podawana jest aktualna prędkość pojazdu.

W ramce z ID 0x480 zaobserwowano wzrost wartości przesyłanych danych w zależności od położenia pedału przyspieszenia, prędkości pojazdu i obciążenia silnika. Natomiast wartość tych danych zmniejszała się przy hamowaniu silnikiem. Dokładniejsze pomiary i analiza, która polegała na przechwyceniu powyższej ramki CAN, a następnie wygenerowaniu testowych danych wykazały, że jest to ramka informująca o chwilowym zużyciu paliwa, ponieważ wskaźnik spalania chwilowego na wyświetlaczu wielofunkcyjnym reagował na generowane fikcyjne dane.

W powyższej analizie przedstawiono tylko część zarejestrowanych wyników, ilość zarejestrowanych wiadomości była znacznie dłuższa.

## 5. Wnioski

Postęp technologiczny wymusił potrzebę sprawnej komunikacji. Oferowane przez producentów systemy stają się coraz bardziej zaawansowane, pojawiła się zatem potrzeba sprawnej diagnozy magistrali danych. Specjalistyczne urządzenia nie zawsze spełniają wszystkie stawiane im wymagania, a jednocześnie ich funkcjonalność jest wprost proporcjonalnie powiązana z ceną. Prezentowany analizator umożliwia sprawne i efektywne analizowanie magistrali CAN, monitorowanie przesyłanych komunikatów oraz wykrywanie anomalii. Analizator CAN można elastycznie dostosować do bieżących potrzeb, co umożliwia sprawowanie pełnej kontroli nad siecią CAN, a jego funkcjonalność nie odbiega od znacznie droższych produktów komercyjnych.

## Literatura

- [1] Bosch, *CAN Specification Version 2.0*, 1991 ([www.can.bosch.com](http://www.can.bosch.com)).
- [2] Schmidgall, Zimmermann, *Magistrale Danych w Pojazdach. Protokoły i Standardy*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, WKŁ, Warszawa 2008.
- [3] Fryśkowski, Grzejszczyk, *Systemy transmisji danych. Mechatronika samochodowa*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, WKŁ, Warszawa 2010.
- [4] Merkiś, Mazurek, *Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, WKŁ, Warszawa 2006.
- [5] Schauffele, Zurawka, *Automotive Software Engineering*, Vieweg Verlag 2006.

MARCIN KLAMRA\*

## PODSTAWOWE IDEE PRÓBKOWANIA OSZCZĘDNEGO

FUNDAMENTAL CONCEPTS  
OF COMPRESSED SENSING

## Streszczenie

Próbkowanie oszczędne jest nową metodą akwizycji danych. Typowe podejście do akwizycji danych polega na pomiarze sygnałów z częstością określoną przez twierdzenie o próbkowaniu. Tak uzyskane dane często są nadmiarowe. Niezbędna jest zatem ich późniejsza kompresja, przeważnie stratna (tutaj idealnym przykładem jest kompresja obrazów np. JPEG), w celu zmniejszenia ilości danych, jakie należy transportować lub składować. Działanie takie powoduje, że zaraz po dokonaniu pomiaru część danych odrzucamy. Próbkowanie oszczędne to protokół pomiaru, który w momencie pomiaru od razu minimalizuje ilość koniecznych pomiarów. Dąży do pomiaru jedynie istotnych składowych sygnału, dane nadmiarowe pomijając. Zastosowanie go jest możliwe przy spełnieniu dodatkowych warunków: rzadkości sygnału badanego oraz niekoherencji w procesie pomiaru.

*Słowa kluczowe: próbkowanie oszczędne*

## Abstract

Compressed Sensing is new method of data acquisition. Typical data acquisition approach is based on the measurement of signals with a frequency determined by the sampling theorem. Data sampled in this way are often redundant. Therefore it is necessary to compress it, often in a loss manner (the perfect examples are image compression algorithms such as JPEG), in order to reduce the amount of data to be transported or stored. Doing so causes that immediately after the measurement, part of the data is rejected. Compressed Sensing is sensing protocol that minimizes the amount of required measurements during sensing. It is designed to measure only the essential components of the signal, omitting redundant information. It is possible to apply such protocol when additional conditions are fulfilled: sparseness of the signal as well as incoherence during sensing.

*Keywords: compressed sensing*

\* Mgr inż. Marcin Klamra, Instytut Teleinformatyki, Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Obecnie wiele danych, które są przesyłane czy składowe, to dane cyfrowe. Podyktowane jest to faktem powszechnego wykorzystywania cyfrowych nośników danych i cyfrowych kanałów transmisyjnych. Większość naturalnych danych ma jednak charakter analogowy. Konieczne jest ich przetworzenie do postaci cyfrowej, tak aby spełniły wymagania obecnych standardów komunikacji i przechowywania danych.

Cyfrowa obróbka danych analogowych wymaga dyskretyzacji sygnału analogowego. Sygnał analogowy reprezentowany jest przez nieskończoną liczbę chwil czasowych, a do reprezentacji wartości sygnału wymagana jest nieskończona ilość bitów. Z przyczyn oczywistych nie jesteśmy w stanie w sposób cyfrowy opisać takiego sygnału. Konieczne jest zastosowanie procesu dyskretyzacji sygnału analogowego, czyli jego kwantyzacji w wybranych chwilach czasowych (próbkiwanie), przy zastosowaniu ograniczonej liczby bitów do reprezentacji sygnału. Powstaje pytanie, czy po dokonaniu tej operacji taki sygnał można zawsze wiernie zrekonstruować. Odpowiedzią na to pytanie jest twierdzenie o próbkowaniu. Stanowi ono, że sygnał można odtworzyć, jeśli ma on ograniczone pasmo i próbkowanie wykonywane jest z odpowiednio wysoką częstotliwością.

Klasyczne podejście do akwizycji danych wymaga mierzenia wszystkich danych (z częstotliwością Nyquista). Jeżeli badany sygnał w swoim widmie częstotliwości nie zawiera częstotliwości większych niż pewne  $B$  (pasmo określone jest przez naturalny rozmiar sygnału), to można go wiernie zrekonstruować przy zastosowaniu próbkowania z częstotliwością przynajmniej dwukrotnie większą niż  $B$ . Jest to podejście pesymistyczne: gwarantuje sukces rekonstrukcji, ale kosztem olbrzymiej ilości gromadzonych danych. Wymaganie takiej ilości pomiarów jest niezbędne tylko w przypadku sygnałów nie posiadających żadnego uporządkowania (odbieranych przez człowieka jako szum). Tymczasem większość użytecznych sygnałów jest w pewien sposób uporządkowana, bądź też posiada pewne dodatkowe właściwości pozwalające na zmniejszenie ilości pomiarów. W podejściu klasycznym ilość pomiarów niezbędna do poprawnej rekonstrukcji jest określona przez naturalny rozmiar danych wyznaczony przez częstotliwość próbkowania. Tak uzyskane dane okazują się najczęściej silnie nadmiarowe. Dowodem potwierdzającym tę tezę jest sukces kompresji. Umożliwia ona znaczną redukcję danych bez szkody w jakości rekonstrukcji. Najbardziej efektywne metody kompresji obrazów (JPEG czy JPEG2000) polegają na transformacji obrazów do postaci, w której możliwe jest usunięcie nieistotnych składowych. Gdyby dane nie były nadmiarowe, to kompresja nie byłaby możliwa. Tak więc klasyczne podejście do pomiaru obrazów (wykonywania fotografii) polega na pomiarze wszystkich składowych sygnału, a następnie odrzuceniu tych, których amplituda jest mała, a więc usunięciu składowych, które wnoszą niewielką ilość informacji nt. badanego sygnału. Często okazuje się, że znaczna część składowych jest nieistotna.

W sytuacjach gdy proces pomiaru jest kosztowny (bez znaczenia czy koszt ten rozumiany jest jako wielkość związana z ekonomią procesu, jego problemami technicznymi czy ewentualnymi skutkami ubocznymi), takie podejście jest niedopuszczalne. W typowej sytuacji nadmiarowości wykonywanych pomiarów – na przykład w sytuacji wykonywania fotografii – koszt nie jest istotny. Sam koszt wykonania matrycy światłoczułej o dużej rozdzielczości, możliwości techniczne wykonania fotografii, czas potrzebny na jej wykonanie czy wreszcie niekorzystny wpływ całej operacji na środowisko są niewielkie lub nie istnieją w ogóle. Stosowanie metod próbkowania oszczędnego nie jest tutaj zasadne.

Problem zaczyna się jednak pojawiać w wielu innych zastosowaniach akwizycji sygnałów, gdzie istotnymi czynnikami są czas wykonywania pomiaru, ilość danych jaką musimy przechowywać bądź przysyłać oraz niekorzystny wpływ procesu akwizycji danych na środowisko czy badany obiekt. Przykładem takiego „problematicznego” procesu akwizycji danych może być proces obrazowania medycznego szeroko stosowany w diagnostyce medycznej. W wielu badaniach medycznych stosuje się czynniki szkodliwe dla zdrowia i życia człowieka. W szczególności może chodzić tutaj o promieniowanie rentgenowskie. Możliwość zmniejszenia ilości niezbędnych do wykonania pomiarów (w tym wypadku chodzi o zmniejszenie dawki promieniowania) oznacza znacznie mniejszą szkodliwość badania. Z drugiej strony przy tej samej dawce promieniowania co w dotychczas stosowanych metodach, możliwe jest wykonanie znacznie większej ilości obrazów diagnostycznych, co może przyczynić się do postawienia lepszej diagnozy. Każdy z wariantów jest niezwykle istotny dla medycyny.

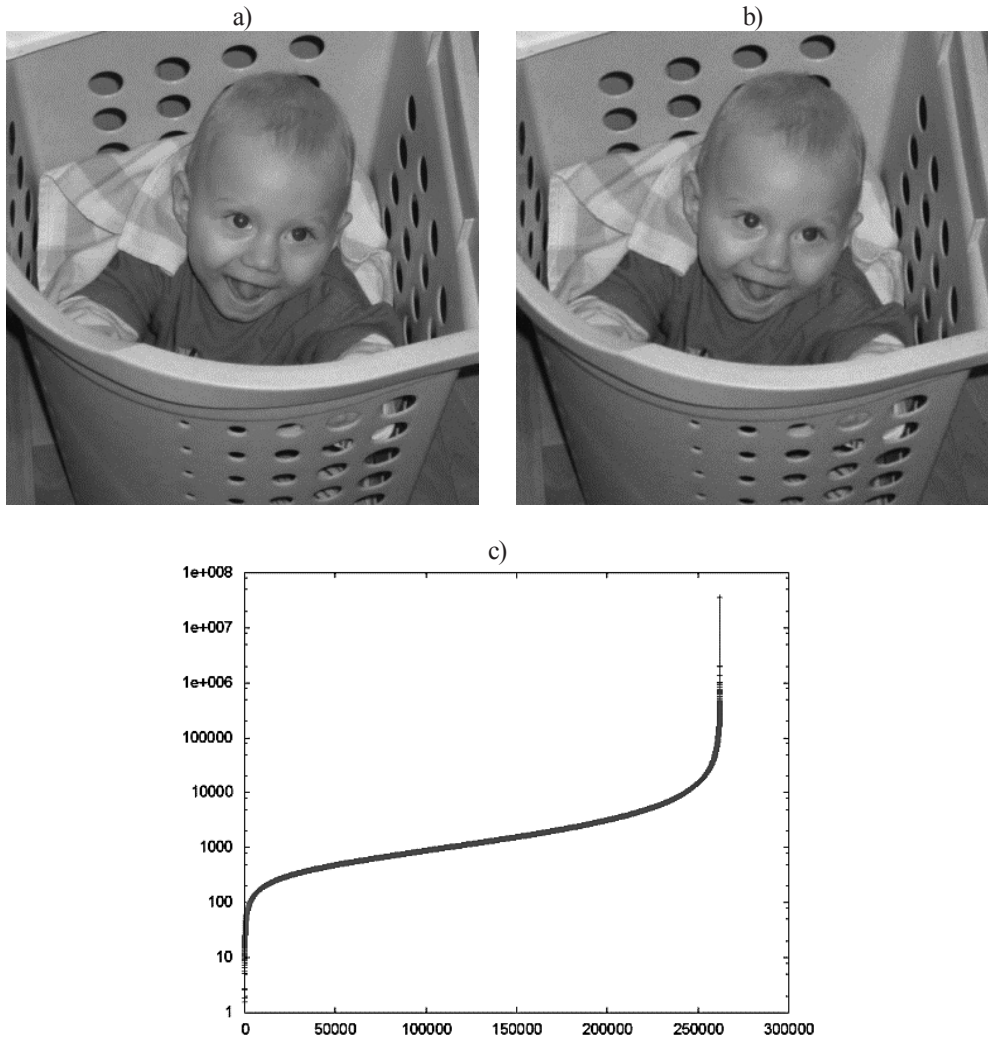
Kolejnym pozytywnym efektem zmniejszenia ilości pomiarów jest skrócenie czasu badania. Zmniejszenie ilości danych pomiarowych oznacza, że możemy badanie przeprowadzić w znacznie krótszym czasie. Pociąga to za sobą przynajmniej dwie istotne korzyści. Wiele badań w diagnostyce medycznej z wykorzystaniem promieniowania wymaga od pacjenta bezruchu, często bezdechu. Kilkakrotne skrócenie czasu badania ma niezwykle istotny wpływ na komfort jego przeprowadzania. Warto również zauważyć zysk ekonomiczny. Badania z wykorzystaniem wszelkich urządzeń obrazowania medycznego (np. tomografu komputerowego) są badaniami kosztownymi. Skrócenie czasu badania powoduje, że w tym samym czasie możliwe będzie przebadanie większej ilości pacjentów, co z pewnością obniży koszty pojedynczego badania.

Innymi „problematicznymi” sytuacjami, w których pomiar jest kosztowny, gdzie istotne może okazać się zmniejszenie częstości próbkowania, są wszelkiego rodzaju zastosowania, gdzie koszt utworzenia detektora jest drogi. Chodzi tu o koszt ekonomiczny. Również w sytuacjach, gdzie detektor szybko degraduje się (ulega zniszczeniu, bądź jego dokładność działania drastycznie obniża się wraz z ilością dokonanych pomiarów) minimalizacja ilości pomiarów jest istotna. Z podobną sytuacją mamy do czynienia wtedy, gdy konieczne jest pokrycie siecią detektorów znacznej powierzchni. Zmniejszenie gęstości detektorów niezbędnej do przeprowadzenia wiernej rekonstrukcji sygnału może się w takich zastosowaniach okazać bardzo cenne.

## 2. Co to jest próbkowanie oszczędne

**Próbkowanie oszczędne** jest procesem pomiaru sygnałów rzadkich i następnie rekonstrukcji tych sygnałów z niepełnych o nich danych (w porównaniu do klasycznych metod pomiarowych). Aby wprowadzić pojęcie próbkowania oszczędnego, przeprowadźmy analizę pomiaru typowego sygnału, jakim jest obraz (wykonywanie cyfrowej fotografii). Dokonywany jest pomiar wielu wartości (pomiar koloru dla każdego punktu matrycy światłoczułej), a następnie wykonywana jest operacja kompresji stratnej (np. JPEG lub JPEG2000), w której następuje znacząca redukcja ilości danych reprezentujących sygnał. Kompresja w tym wypadku polega na rozkładzie mierzonego sygnału na składowe w bazie, w której opis jest bardziej zwarty (w bazie fourierowskiej dla JPEG, czy bazie falkowej

dla JPEG2000) i usunięciu składowych o niewielkiej amplitudzie. Pokazuje to przykład na rysunku 1, gdzie pomimo usunięcia blisko 85% składowych możliwa jest poprawna rekonstrukcja. Pojawia się zatem pytanie, czy wobec tego nie można dokonywać pomiaru tylko tych składowych sygnału, które są dla niego istotne i wnoszą znaczną ilość informacji, a pomijać te składowe, które mają niewielki wpływ na badany sygnał?



Rys. 1. a) obraz oryginalny, b) obraz zrekonstruowany po odrzuceniu około 85% składowych fourierowskich, c) posortowane wartości bezwzględne składowych fourierowskich dwuwymiarowej transformaty obrazu oryginalnego – skala logarytmiczna

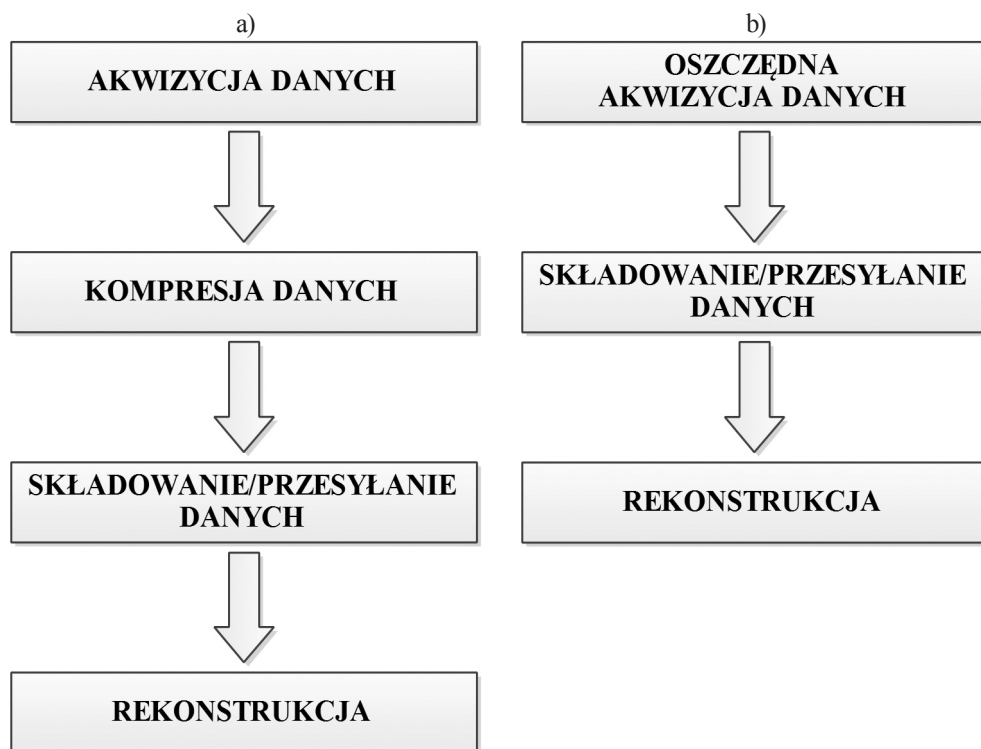
Fig. 1. a) original image, b) image reconstructed after rejecting about 85% of the Fourier components, c) sorted absolute values of the two-dimensional Fourier transform components of the original image – logarithmic scale



W typowym podejściu nie jest to możliwe, gdyż proces pomiaru jest adaptacyjny (zależy od danych). Oznacza to, że przed rozpoczęciem pomiarów nie wiemy, które składowe będą istotne – mierzymy wszystkie, a potem usuwamy te, których amplituda jest mała. Nam chodzi o określenie protokołu pomiaru, który nie będzie zależał od danych i nie będzie potrzebował do przeprowadzenia rekonstrukcji wszystkich małych składowych sygnału. Wyjściem jest stworzenie protokołu, który nie zależy od danych i pozwala na odzyskanie wszystkich ważnych składowych sygnału, bazując na niewielkiej ilości pomiarów w stosunku do naturalnego rozmiaru sygnału.

Próbkowanie oszczędne jest właśnie takim protokołem pomiaru. Unika mierzenia wszystkich składowych. Dokonywany jest pomiar stosunkowo niewielkiej ilości danych (w stosunku do naturalnego rozmiaru sygnału), a co równie istotne, jest to proces niezależny od danych.

Rysunek 2 schematycznie prezentuje porównanie metody próbkowania oszczędnego ze standardowym podejściem, ukazując jednocześnie, w jaki sposób przeniesiony zostaje nakład pracy z procesu akwizycji do procesu rekonstrukcji sygnału. W przypadku podejścia klasycznego (rys. 2a) duży nakład pracy jest wymagany w procesie akwizycji oraz kompresji danych. Wykonuje się wiele pomiarów, a następnie przeprowadzana jest kompresja danych, która ma usunąć dużą część nieistotnych danych pomiarowych. Proces rekonstrukcji jest procesem stosunkowo prostym.



Rys. 2. Porównanie metod próbkowania oszczędnego (b) z podejściem klasycznym (a)

Fig. 2. Comparison of compressed sensing (b) and the classical approach (a) methods

W przypadku próbkowania oszczędnego (rys. 2b) proces akwizycji danych wymaga stosunkowo niewielkiego nakładu pracy. Wykonywana jest niewielka ilość pomiarów. Duży nakład pracy wymagany jest jednak w procesie rekonstrukcji. Rekonstrukcja jest procesem złożonym, chociaż jej przeprowadzenie opiera się na przetworzeniu niewielkiej ilości danych nt. analizowanego sygnału.

Próbkowanie oszczędne niejako przerzuca ciężar pracy w procesach akwizycji i rekonstrukcji sygnału na jego rekonstrukcję. W przypadku podejścia standardowego wykonywanych jest wiele operacji pomiaru sygnału, a następnie znaczna część tych danych (dane mało istotne) jest odrzucana, gdyż nie jest ona niezbędna do wykonania rekonstrukcji sygnału. Rekonstrukcja sygnału jest procesem stosunkowo prostym ze względu na prostotę stosowanych tu algorytmów obliczeniowych. W przypadku próbkowania oszczędnego wszystkie zmierzone wartości są wykorzystywane w procesie rekonstrukcji. Sam proces rekonstrukcji jest znacznie bardziej skomplikowany niż w przypadku standardowego podejścia. Wynika to z faktu posiadania stosunkowo niewielkiej informacji wstępnej nt. rekonstruowanego sygnału oraz stosowania skomplikowanych algorytmów zapewniających poprawną rekonstrukcję sygnału.

Podejście oszczędne jest sensowne w sytuacjach, gdzie pomiar jest „kosztowny”. Jak wcześniej wspomniano, nie chodzi tu jedynie o koszt ekonomiczny, ale o wiele innych aspektów, jak szkodliwy wpływ pomiaru na obiekt badany, czy istnieje konieczność szybkiego przeprowadzenia akwizycji danych.

### 3. Warunki

Pojawia się oczywiście pytanie, kiedy z tak niewielkiej ilości pomiarów można wiernie zrekonstruować sygnał. Okazuje się, że powodzenie tego procesu jest możliwe przy spełnieniu dwóch warunków:

- warunku dotyczącego własności strukturalnych danych [2, 5], który będziemy nazywać rzadkością,
- ograniczeń na organizację procesu pomiaru danych, którym musi podlegać proces pomiarowy – będziemy je nazywać niekoherencją pomiaru [5].

#### 3.1. Rzadkość

Przez rzadkość rozumiemy własność sygnału, która polega na tym, że daje on się zapisać w zwarty sposób. Oznacza to, że istnieje baza, w której sygnał ten ma niewiele składowych różnych od zera. Oczywiście zawsze można zdefiniować bazę, w której sygnał będzie rzadki (np. bazę w której sygnał odpowiada dokładnie jednemu z wektorów bazowych), ale wtedy wracamy do sytuacji, w której proces akwizycji zależy od sygnału. Tak więc chodzi tutaj o przypadek, w którym w jednej z powszechnie używanych baz (położenia, fourierowskiej, falkowej, noisletowej) sygnał ma niewielką ilość niezerowych składowych.

Sygnały rzadkie to sygnały, których duża część składowych ma wartość równą zero. Mówimy że sygnał  $x$  o długości określonej przez parametr  $n$  jest  $s$ -rzadki, jeżeli  $s$  spośród jego składowych ma wartości różne od zera, a  $n-s$  składowych ma wartości równe zero. O sygnałe rzadkim mówimy gdy:

$$s \ll n \quad (1)$$

gdzie:

$$s, n \in \mathbb{N}^+$$

Oprócz sygnałów rzadkich wprowadza się pojęcie sygnałów prawie rzadkich (kompresowalnych). Znaczna część składowych takich sygnałów ma wartości bliskie zeru, tak że ich pominięcie nie ma większego wpływu na jakość reprezentacji sygnału. Sygnał  $x$  jest sygnałem prawie rzadkim, jeśli znaczna część jego składowych ma wartość bliską zero. Analogicznie do przypadku sygnału rzadkiego możemy dla sygnału o długości  $n$  wyznaczyć  $s$  składowych, których wartości są znaczące w porównaniu z pozostałymi składowymi. Gdy dokonamy posortowania składowych sygnału, ze względu na wartość bezwzględną, to prawie  $s$ -rzadki sygnał spełnia relację:

$$\sum_{i=s+1}^n |x_i| \ll \sum_{i=1}^s |x_i| \quad (2)$$

gdzie:

$$s, n \in \mathbb{N}^+,$$

$x_i$  – składowe sygnału.

Warunek ten gwarantuje, że znaczna część składowych sygnału ma wartości równe 0, co pozwala na ich pominięcie, prowadząc do uproszczenia problemu.

Na rysunku 3 przedstawione są trzy sygnały: a) jest sygnałem pozbawionym rzadkości, b) jest sygnałem rzadkim, c) jest sygnałem prawie rzadkim.

Wiele sygnałów w swojej naturalnej postaci nie wykazuje cech rzadkości. Konieczna jest ich reprezentacja w innej bazie, gdyż rzadkość może się ujawnić po zastosowaniu właściwej bazy dla danego sygnału. Rysunek 1 przedstawia przykład sygnału, który w swojej naturalnej postaci (ciąg pikseli) nie wykazuje cech rzadkości, a które ujawniają się po dokonaniu przejścia do bazy fourierowskiej. Obraz w swojej naturalnej postaci (ry. 1a) jest rzadki. Po wykonaniu dwuwymiarowej transformaty Fouriera tego obrazu zauważamy, iż wartości bezwzględne składowych Fouriera w znacznej większości mają wartości bliskie 0 (rysunek 1c prezentuje te wartości posortowane od najmniejszych do największych). Po odrzuceniu około 85% składowych (około 85% najmniejszych wartości zostało wyzerowanych) i wykonaniu transformaty odwrotnej otrzymujemy obraz, którego jakość jest zbliżona do oryginału (rysunek 1b).

Sama rzadkość jednak nie wystarcza. Chcemy z małej ilości pomiarów uzyskać informacje o wszystkich istotnych składowych sygnału. W idealnej sytuacji informacja ta powinna być uzyskana na podstawie  $s$  pomiarów (gdzie  $s$  oznacza rzadkość sygnału). Jest to niemożliwe, ponieważ musielibyśmy z góry wiedzieć, które składowe. Okazuje się jednak, że warunkiem zapewniającym poprawną rekonstrukcję jest warunek wykonania większej ilości pomiarów niż określa to rzadkość sygnału, ale ilość ta może być silnie mniejsza od rozmiaru sygnału:

$$s < k \ll n \quad (3)$$

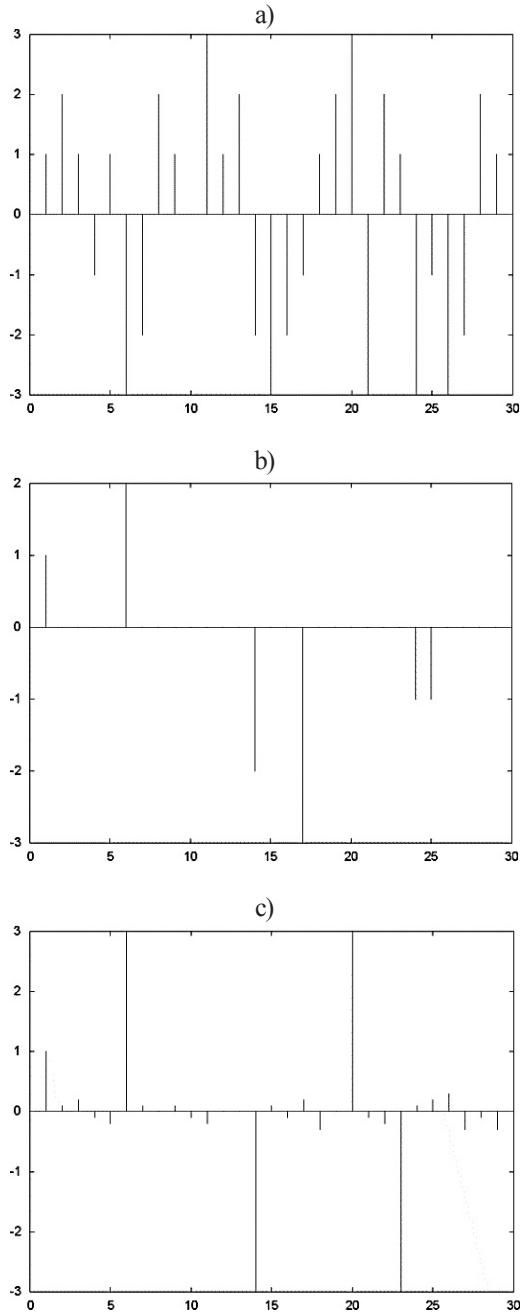
gdzie:

$$s, k, n \in \mathbb{N}^+,$$

$s$  – rzadkość sygnału,

$k$  – ilość niezbędnych pomiarów,

$n$  – rozmiar sygnału.



Rys. 3. a) sygnał o wartościach niezerowych z przedziału  $[-3;3]$ ,  
 b) sygnał rzadki, c) sygnał prawie rzadki

Fig. 3. a) signal in range  $[-3;3]$  with non-zero values, b) sparse signal, c) almost sparse signal

### 3.2. Niekoherencja pomiaru

Rzadkość to konieczny, ale niewystarczający warunek powodzenia procesu oszczędnego próbkowania. Oprócz niego musi być spełniony dodatkowy warunek na sposób przeprowadzania pomiaru – musi on być tak zorganizowany, by nie gubić istotnych składowych sygnału. W przypadku sygnałów rzadkich jest to niezwykle istotne (w sygnale takim niewielka ilość składowych niesie istotne informacje i pominięcie części z nich w procesie pomiarowym może skutkować nieskutecznością rekonstrukcji sygnału). Gwarancją takiego zachowania się procesu pomiarowego jest spełnienie warunku niekoherencji pomiaru [5].

Aby wyjaśnić pojęcie niekoherencji pomiaru, zajmijmy się analizą procesu pomiaru. Przez pomiar rozumiemy porównanie sygnału ze wzorcem. W celu dokonania pomiaru musimy wprowadzić układ wzorców zwany bazą pomiarową. Przez pomiar rozumiemy rzutowanie sygnału na bazę pomiarową. W przypadku obrazu z rysunku 1 rozmiar bazy pomiarowej to  $n=w^2$ , gdzie  $w$  oznacza rozdzielczość obrazu. Bazę pomiarową możemy zdefiniować jako:

$$\Phi = \{\varphi_i\}_{i=1,\dots,n} \quad (4)$$

gdzie:

$\Phi$  – baza pomiarowa,

$\varphi_i$  – składowe bazy pomiarowej.

Wynik pojedynczego pomiaru to rzutowanie sygnału na  $i$ -tą składową bazy pomiarowej:

$$b_i = f \cdot \varphi_i \quad (5)$$

gdzie:

$b_i$  – wynik pomiaru  $i$ -tej składowej sygnału,

$f$  – sygnał,

$\varphi_i$  –  $i$ -ta składowa bazy pomiarowej.

Proces ten macierzowo można przedstawić jako:

$$b = \Phi f \quad (6)$$

gdzie:

$b$  – wynik pomiarów sygnału,

$f$  – sygnał,

$\Phi$  – baza pomiarowa, gdzie wiersze macierzy są wektorami bazowymi.

Z kolei sam sygnał można przedstawić, stosując jego rozwinięcie w bazie, w której jest on rzadki:

$$f = \sum_{i=1}^n x_i \psi_i \quad (7)$$

gdzie:

$\psi_i$  –  $i$ -ta składowa bazy sygnału,

$x_i$  –  $i$ -ta składowa sygnału,

$f$  – sygnał.

W zapisie macierzowym relację tą można przedstawić jako:

$$f = \psi x \quad (8)$$

gdzie:

$\psi$  – macierz, której kolumny to kolejne wektory bazy w której sygnał jest rzadki

$x$  – wektor składowych sygnału  $x$ ,

$f$  – sygnał.

Proces pomiaru w zapisie macierzowym polega zatem na przemnożeniu wektora  $f$  przez macierz pomiarową:

$$y = \Phi f = \Phi \psi x = Ax \quad (9)$$

gdzie:

$\Phi$  – baza pomiarowa,

$\psi$  – baza sygnału, w której sygnał jest rzadki,

$x$  – wektor składowych sygnału  $x$ ,

$f$  – sygnał,

$A$  – macierz pomiarowa.

Jak widać w równaniu 9, w procesie akwizycji sygnału będziemy zawsze myśleli o dwóch bazach. Jedna baza to baza sygnału ( $\psi$ ), w której sygnał jest rzadki. Druga baza to baza pomiarowa ( $\Phi$ ) wykorzystywana w celach akwizycji danych. Naturalnym wydaje się pytanie, dlaczego nie ograniczyć się tylko do jednej z nich, tej w której sygnał jest rzadki. Odpowiedź jest prosta – bo musielibyśmy wykonać liczbę pomiarów rzędu  $n$  (gdzie  $n$  oznacza ilość składowych sygnału). Każdy pomiar z wykorzystaniem bazy sygnału daje nam informacje tylko o jednej składowej sygnału. Wynika to z faktu dużej zależności pomiędzy bazą sygnału i bazą pomiarową (w tym przypadku zależność jest maksymalna, bo stosujemy te same bazy). Musielibyśmy wykonać wiele pomiarów, co oznacza, że do celów metod próbkowania oszczędnego konieczne jest wykorzystanie innej bazy, której stopień zależności z bazą sygnału jest jak najmniejszy.

Miarą zależności pomiędzy bazami jest koherencja. Opisana jest ona wzorem:

$$\mu(\Phi, \psi) = \sqrt{n} * \max_{1 \leq k, j \leq n} \left| \langle \varphi_k, \psi_j \rangle \right| \quad (10)$$

gdzie:

$\Phi$  – baza pomiarowa,

$\psi$  – baza sygnału, w której sygnał jest rzadki,

$n$  – rozmiar baz,

$\varphi_i$  – składowe bazy pomiarowej,

$\psi_j$  – wektor bazowy sygnału.

Koherencja pomiędzy dwoma bazami jest miarą największej korelacji pomiędzy dwoma dowolnymi wektorami bazowymi baz. Mierzy ona największą zależność pomiędzy nimi. Zakładając, że obie bazy, o których tutaj mowa, są bazami ortonormalnymi, możemy łatwo uzasadnić, że koherencja przyjmuje wartości z zakresu  $[1, \sqrt{n}]$ . Zauważmy, że iloczyn skalarny dwóch wektorów bazowych może przyjąć wartość maksymalną równą 1 (długości wektorów są równe jeden i cosinus kąta pomiędzy nimi również wynosi 1). Z kolei wartość minimalna maksimum iloczynu skalarnego dwóch wektorów bazowych wyno-

si  $1/\sqrt{n}$ . Jest ona osiągnięta wtedy, gdy wszystkie składowe wektora bazowego jednej z baz mają wartość  $1/\sqrt{n}$ , a drugi wektor bazowy ma wartość jednej ze składowych równą 1, a wartości pozostałych składowych są równe 0. Sytuacja taka ma miejsce, gdy jeden wektor bazowy ma taką samą wartość składowych, a drugi posiada wartość 1 na jednej ze składowych i poza tym wartości 0.

Koherencja powinna być jak najmniejsza. W takiej sytuacji pojedynczy pomiar testuje wartości wielu składowych sygnału. Pozwala to na uzyskanie pełnej informacji o sygnale przy niewielkiej ilości pomiarów. To z kolei gwarantuje wierną rekonstrukcję sygnału (oczywiście pod warunkiem spełnienia innych warunków takich jak rzadkość).

Załóżmy sytuację, w której jako macierz pomiaru stosujemy macierz bazową sygnału. Załóżmy, że nasz sygnał reprezentowany jest jak na rysunku 3a) przez wektor:

$$x^T = [1, 0, 0, 0, 0, 2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -2, 0, 0, -3, 0, 0, 0, 0, 0, -1, -1, 0, 0, 0, 0, 0] \quad (11)$$

Jeżeli zastosujemy jako jeden z wierszy macierzy pomiarowej (wektor bazowy sygnału  $x$ ) wektor o postaci:

$$a_1 = [1, 0] \quad (12)$$

wtedy:

$$a_1 x = 1 \quad (13)$$

Osiągamy dokładną wiedzę o pierwszym elemencie wektora  $x$  i żadnym więcej. Aby uzyskać wiedzę o wszystkich składowych wektora  $x$ , musielibyśmy dokonać tyle pomiarów, ile składowych posiada wektor  $x$ . Jak wcześniej zauważyliśmy, w metodach próbkowania oszczędnego chodzi o to, by ilość niezbędnych pomiarów zminimalizować. Konieczne jest wybranie innych wektorów pomiarowych, takich które mają jak najmniejszą koherencję z wektorami naturalnej bazy sygnału. Wektorem takim może być np. wektor o składowych:

$$a_2 = [0.18, 0.18, 0.18, \dots, 0.18] \in R^{30} \quad (14)$$

gdzie:

$0,18 \approx 1/\sqrt{30}$  – wektor  $x$  posiada 30 składowych.

W wyniku wykorzystania wektora bazowego  $a_2$  posiadamy informację o pewnej kombinacji składowych wektora sygnału, które są niezerowe. W naszym przykładzie wektor  $x$  posiada 6 niezerowych składowych. Po dokonaniu kilku tego typu pomiarów mamy szansę posiadać wiedzę o istotnych składowych sygnału.

### 3.3. Ile wykonać pomiarów

Fundamentalnym pytaniem dla metod *compressed sensing* wydaje się być pytanie: ile wykonać pomiarów, by możliwa była rekonstrukcja sygnału rzadkiego z niepełnych danych? Twórcy tej metody wykazali, iż wartość ta zależy od kilku czynników: ilości składowych sygnału, poziomu jego rzadkości oraz koherencji (zależnej od stosowanych baz) [1]. Wartość ta opisana jest wzorem:

$$k \geq C * \mu^2 (\Phi, \psi) * s * \log(n) \quad (15)$$

gdzie:

- $C$  – pewna stała dodatnia,
- $\mu$  – koherencja pomiędzy bazami  $\Phi$  oraz  $\psi$ ,
- $s$  – rzadkość sygnału,
- $n$  – ilość składowych sygnału.

Z powyższego równania wynika, że koherencja posiada znaczny wpływ na ilość pomiarów, jakie trzeba wykonać, by możliwa była poprawna rekonstrukcja sygnału. Innymi czynnikami są rzadkość sygnału (na nią nie mamy wpływu) oraz jego naturalny rozmiar (też nie mamy wpływu).

#### 4. Własność RIP

Dla metod próbkowania oszczędnego istotnym elementem jest odpowiedni dobór bazy pomiarowej w akwizycji danych (od doboru baz zależy wygląd macierzy pomiarowej), tak aby koherencja pomiędzy bazą sygnału (w której jest on rzadki) a bazą stosowaną w pomiarze była jak najmniejsza. Metoda doboru bazy pomiarowej opierająca się na koherencji nie jest praktyczna. Pozwala na określenie, czy dana macierz pomiarowa cechuje się odpowiednio niską koherencją. Jest miarą, która pozwala sprawdzić, czy dana macierz pomiarowa będzie odpowiednia, ale nie daje przepisu jak ją utworzyć. Powstaje pytanie jaka własność macierzy pomiarowej odpowiada własności niekoherencji baz.

Jakie własności musi posiadać macierz pomiarowa ( $A$ ), by gwarantowała poprawną rekonstrukcję mierzonego sygnału? Działa ona na rzadkie dane, a co za tym idzie, tylko jej część efektywnie wpływa na dane (tam gdzie składowe sygnału są różne od 0).

Twórcy metody próbkowania oszczędnego podali sposób pozwalający na dobranie macierzy pomiaru, która będzie posiadać niewielką koherencję z bazą sygnału badanego. Macierz taka musi spełniać własność o nazwie Restricted Isometry Property (RIP) [1,7]. By ją zdefiniować konieczne jest wprowadzenie stałej izometrii  $\delta_s$ , określonej dla danej rzadkości  $s$ , jako najmniejsza wartość spełniająca poniższy warunek:

$$(1 - \delta_s) \|x\|_{l_2}^2 \leq \|Ax\|_{l_2}^2 \leq (1 + \delta_s) \|x\|_{l_2}^2 \quad (16)$$

gdzie:

- $x \in R^n$  – badany sygnał (rzadki),
- $A \in R^{m \times n}$  – macierz pomiaru,
- $s$  – rzadkość sygnału  $x$ ,
- $\delta_s$  – stała izometrii macierzy  $A$ .

Własność ta gwarantuje, iż możliwa będzie poprawna rekonstrukcja sygnału rzadkiego. Mówimy, że macierz  $A$  spełnia własność RIP, jeżeli wartość  $\delta_s$  jest istotnie różna od jedynki. Gdy ta własność jest spełniona, macierz pomiaru zachowuje długości wektorów, co z kolei implikuje, że wszelkie dokonane pomiary nie będą produkować wektorów zerowych. Dzięki temu możliwa będzie rekonstrukcja sygnału, gdyż w procesie pomiaru nie będzie tracona informacja o nim.



Cechą jaką musi posiadać macierz, która zachowuje odległości jest ortogonalność. Trudno jednak mówić o ortogonalności macierzy, która nie jest macierzą kwadratową. Macierz  $A$  musi zatem zachowywać się jak macierz ortogonalna, dowolny podzbiór kolumn macierzy  $A$  musi być w przybliżeniu ortogonalny.

Pozostaje jeszcze pytanie, czy do każdego zadania musimy stosować inne macierze pomiarowe, czy musimy je w specjalny sposób projektować, jeśli tak to w jaki? Czy konieczna jest wiedza nt. naturalnej bazy sygnału, by być w stanie zaprojektować macierz pomiarową? Okazuje się (szczęśliwie), że nie. Możliwe jest wybranie bazy pomiarowej gwarantującej niską koherencję bez wcześniejszej znajomości bazy sygnału. Jak wykazali twórcy metod próbkowania oszczędnego, możliwe jest zastosowanie macierzy losowych o różnych rozkładach, m.in. o rozkładzie Gaussa [1, 4].

## 5. Rekonstrukcja

Pomiar danych można zaprezentować przy pomocy operacji macierzowych, gdzie macierz pomiaru działamy na wektor reprezentujący sygnał. W wyniku takiej operacji otrzymywany jest wektor reprezentujący badany sygnał w rzutowaniu na wzorce określone w macierzy pomiaru. Matematycznie proces ten można zapisać jako:

$$y = Ax \quad (17)$$

gdzie:

- $x$  – badany sygnał,
- $A$  – macierz pomiaru,
- $y$  – wektor pomiaru..

Rekonstrukcja takiego sygnału, w przypadku gdy macierz  $A$  jest macierzą kwadratową jest operacją prostą, wymaga przemnożenia wektora  $y$  przez macierz odwrotną do  $A$ . Przy stosowaniu metod próbkowania oszczędnego macierz  $A$  nie jest jednak macierzą kwadratową. Ilość realizowanych pomiarów jest znacznie mniejsza od ilości składowych sygnału badanego. Macierz  $A$  jest macierzą prostokątną, gdzie ilość wierszy tej macierzy odpowiada rozmiarowi wektora  $y$ , a więc ilości dokonanych pomiarów.

W przypadku metod próbkowania oszczędnego ilość pomiarów jest wielokrotnie mniejsza od rozmiaru sygnału. Rekonstrukcja sygnału z takich niepełnych danych poprzez rozwiązanie prostego układu równań daje wiele możliwych rozwiązań (pozwala jedynie na wyznaczenie zależności pomiędzy zmiennymi). Konieczne jest wprowadzenie dodatkowych warunków, które zapewniają jednoznaczność rozwiązań.

Takim dodatkowym warunkiem w rozwiązaniu wyżej przedstawionego problemu może być fakt, iż badany sygnał ma być sygnałem rzadkim, a co za tym idzie znaczna część jego składowych powinna być równa 0. Zatem problem można sprowadzić do postaci:

$$\min_x \|x\|_{l_0} \Big|_{Ax=y} . \quad (18)$$

Problem ten można opisać słownie jako rozpatrzenie wszystkich rozwiązań  $Ax=y$ , a następnie wybranie tego, które minimalizuje ilość składowych niezerowych. Takie postawienie sprawy powoduje zmianę charakteru problemu z kombinacyjnego na optymalizacyjny.

Norma  $l_0$  mierzy ilość niezerowych elementów w wektorze. Niestety powyższy problem jest problemem NP-zupełnym i w praktyce nie jest możliwe jego rozwiązanie w sensownym czasie. Konieczne zatem jest zastąpienie normy  $l_0$  inną normą. Standardowo stosowaną w tego typu problemach stosowaną normą jest norma  $l_2$ :

$$\|x\|_2 = \sqrt{\sum_i x_i^2}. \quad (19)$$

Jej zastosowanie nie daje jednak dobrych wyników. Norma ta faworyzuje istnienie wielu składowych sygnału o niewielkich wartościach. W metodach próbkowania oszczędnego konieczne jest odszukanie niewielkiej ilości składowych o istotnych wartościach. Niezbędne jest zatem zastosowanie innej normy. Twórcy metody zaproponowali zastosowanie tutaj normy  $l_1$ [3,4]:

$$\|x\|_1 = \sum_i |x_i| \quad (20)$$

Ostatecznie problem rekonstrukcji danych w metodach próbkowania oszczędnego można ogólnie przedstawić jako metodę optymalizacyjną sformułowaną następująco

$$\min_x \|x\|_1 \Big|_{Ax=y} \quad (21)$$

Tak postawiony problem jest równoważny problemowi programowania liniowego o wielomianowej złożoności obliczeniowej.

## 6. Przykład zastosowania próbkowania oszczędnego

Na rysunku 4a) przedstawiony został obraz prezentujący wynik rentgenowskiego badania gęstości kości, wykonany jako badanie progowe (wyszukiwanie obszarów o gęstości mniejszej niż podany próg). Jak widać, obraz ten jest obrazem rzadkim w swojej naturalnej postaci. Duże powierzchnie tego obrazu są jednokolorowe. Aby uzyskać taki obraz w diagnostyce medycznej, konieczne jest wykonanie wielu pomiarów. Wydaje się (w świetle wcześniej przedstawionych faktów), iż idealnym byłoby zastosowanie w takim badaniu metod próbkowania oszczędnego. Jak pokazują wykonane obliczenia numeryczne, w przypadku takiego obrazu, wystarczy niewielka informacja na jego temat, by dokonać wiernej rekonstrukcji.

Na rysunku 4b) przedstawiony jest wykres wierności rekonstrukcji w funkcji ilości danych wstępnych posiadanych nt. obrazu. Oś  $y$  ukazuje względny udział pikseli źle zrekonstruowanych. Jak widać, pomiar danych rzędu 9% wystarcza do osiągnięcia wiernej rekonstrukcji obrazu (wszystkie piksele zostały wiernie zrekonstruowane). Obliczenia przeprowadzone zostały zgodnie z algorytmami zaprezentowanymi w pakiecie  $l_1$ -magic [6].

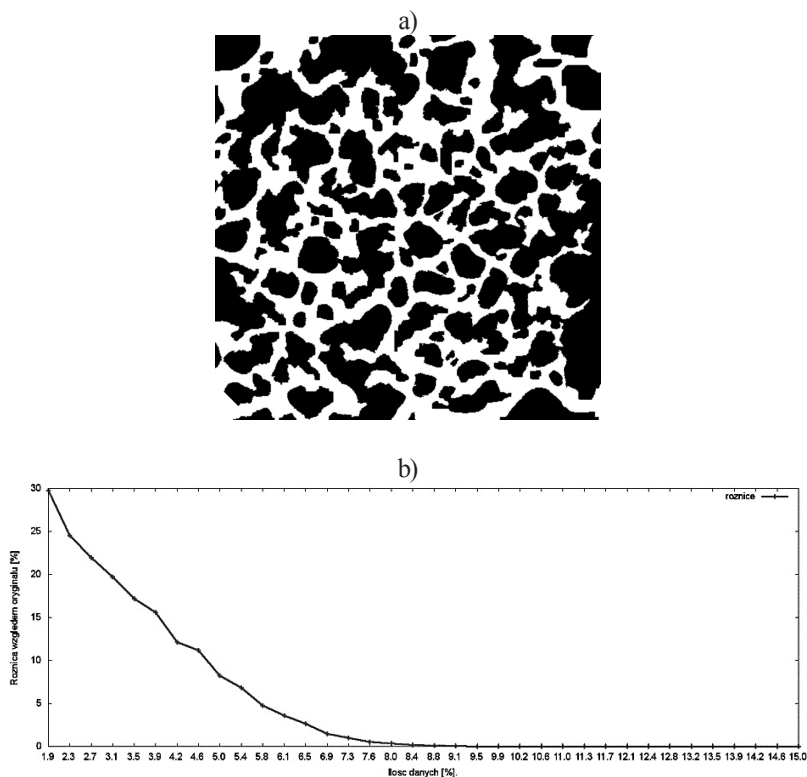
## 7. Wnioski

Próbkowanie oszczędne jest polega na zmniejszeniu wymaganej ilości pomiarów w procesie akwizycji danych. Akwizycja przeprowadzana jest z częstością znacznie mniejszą niż częstość Nyquista. Próbkowanie oszczędne wprowadza już na etapie akwizycji danych pro-

ces odpowiadający kompresji w klasycznym podejściu. Akwizycja danych przeprowadzana jest w taki sposób, aby w jej wyniku nie uzyskiwać danych nadmiarowych. Jest swoistego rodzaju połączeniem samej akwizycji z procesem kompresji.

Pojawia się oczywiście problem, w jaki sposób ustalić, które elementy sygnału należy próbkować, aby taki pomiar pozbawiony był nadmiarowości, a wierna rekonstrukcja sygnału była możliwa. W idealnej sytuacji sposób pomiaru musi być niezależny od charakterystyki sygnału mierzonego. Tylko w takiej sytuacji można mówić o próbkowaniu oszczędnym. Charakterystykę sygnału możemy poznać, gdy będziemy znali sygnał, a tego właśnie chcemy na wstępie uniknąć.

Metody *compressed sensing* ze względu na swoją oszczędność w procesie akwizycji danych są w wielu zastosowaniach niezastąpione. Chodzi tutaj przede wszystkim o wszelkiego rodzaju sytuacje, w których pomiar jest kosztowny, jak np. przy metodach obrazowania dla celów diagnostyki medycznej. Koszt w tym wypadku rozumiany jest jako koszt ekonomiczny (wysoki koszt badania z wykorzystaniem urządzeń diagnostyki medycznej) oraz jako szkodliwy wpływ badań obrazowania medycznego na pacjenta.



Rys. 4. Obraz rzadki, reprezentujący gęstość kości (a) oraz wykres wierności rekonstrukcji obrazu w funkcji ilości danych wstępnych posiadanych nt. obrazu (b)

Fig. 4. Sparse image that represents density of the bone (a) and image reconstruction accuracy as a function of the amount of initial data (b)

Innymi zastosowaniami mogą być takie, w których kosztowny jest przesył bądź składowanie danych. W szczególności metody *compressed sensing* można wykorzystać do kompresji danych, a co za tym idzie zmniejszyć ilość danych przesyłanych bądź składowanych. W sytuacjach, gdzie nadajnik ma ograniczoną energię (zasilane bateryjnie urządzenia umieszczone w trudno dostępnych miejscach), ilość danych, jakie należy przesłać, ma niebagatelne znaczenie.

Próbkowanie oszczędne posiada także cechy szyfrowania danych. W procesie akwizycji wykorzystywana jest losowa macierz. Aby dokonać rekonstrukcji sygnału, konieczna jest znajomość tej macierzy. Bez jej znajomości proces rekonstrukcji nie jest możliwy.

Z metodami próbkowania oszczędnego powiązanych jest jednak wiele problemów. Podstawowym z nich jest złożoność procesu rekonstrukcji sygnału z niepełnych danych, gdzie wymagana jest duża moc obliczeniowa. Konieczne wydaje się zaproponowanie nowych, wydajnych oraz skutecznych (gwarantujących wysoką jakość) metod rekonstrukcji. Rozsądnym wydaje się być także zastosowanie odpowiedniego sprzętu obliczeniowego gwarantującego odpowiednio dużą moc obliczeniową, a co za tym idzie krótki czas rekonstrukcji.

#### Literatura

- [1] Candes E., Wakin M., *An Introduction To Compressive Sampling*, IEEE Signal Processing Magazine, tom 25, Wyd. 2, 2008, 21-30.
- [2] Candes E., Romberg J., Tao T., *Robust uncertainty principles: Exact signal reconstruction from highly incomplete frequency information*, IEEE Transactions on Information Theory, tom 52, Wyd. 2, 2006, 489-509.
- [3] Donoho D., *Compressed Sensing*, IEEE Transactions on Information Theory, tom 52, Wyd. 4, 2006, 1289-1306.
- [4] Candes E., Tao T., *Near optimal signal recovery from random projections: Universal encoding strategies?*, IEEE Transactions on Information Theory, tom 52, Wyd. 12, 2006, 5406-5425.
- [5] Candes E., Romberg J., *Sparsity and incoherence in compressive sampling*, Inverse Prob., tom 23, Wyd. 3, 2007, 9690985.
- [6] Candes E., Romberg J.,  *$l_1$ -magic: Recovery of sparse signals via convex programming*, Caltech, 2005.
- [7] Candes E., *The restricted isometry property and its implications for compressed sensing*, Science Direct Theory of Signals/Mathematical Analysis, tom 1, 2008, 589-592.

KRZYSZTOF ULMAN, KRZYSZTOF RZECKI\*

## ALGORYTM WYKRYWANIA TREŚCI NA STRONACH PORTALI INTERNETOWYCH

---

### DETECTION ALGORITHM FOR CONTENT ON INTERNET WEB PORTALS

#### Streszczenie

W artykule przedstawiono podejście wykorzystane podczas projektowania i implementowania algorytmu automatycznego wykrywania treści na stronach portali internetowych oparte o analizę struktury kodu HTML strony WWW. Za treść strony uznano tekst artykułów wraz z jego nagłówkiem, z pominięciem innych tekstów występujących na stronie (menu, reklamy, komentarze, podpisy pod zdjęciami, itp.).

*Słowa kluczowe: wykrywanie treści, eksploracja danych, ekstrakcja danych, gromadzenie danych, analiza budowy stron WWW, HTML*

#### Abstract

The paper shows steps, made during designing and implementing automatic web pages contents recognition algorithm, based on HTML structure analysis. A web page contents is the article text with its headline, without any other text like menu, advertisements, user's comments, image captions, etc.

*Keywords: web pages contents recognition, data mining, web scraping, data collection, web pages structure analysis, HTML*

---

\* Inż. Krzysztof Ulman, dr inż. Krzysztof Rzecki, Instytut Teleinformatyki, Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Każda nowoczesna strona WWW oprócz głównej treści (np. tekstu publikacji dziennikarskiej, czy naukowej) składa się z wielu innych elementów, takich jak: nagłówki strony, stopka, menu, hiperłącza do innych podstron, elementy multimedialne, podpisy pod zdjęciami, reklamy, komentarze, ankiety itp. W przypadku portali internetowych (zwłaszcza informacyjnych) strony WWW są generowane dynamicznie przez oprogramowanie do zarządzania treścią CMS (*Content Management System*). Źródłowy zredagowany artykuł jest czystym tekstem (z ewentualnymi referencjami) umieszczonym w bazie artykułów. Przygotowanie danej strony przez CMS polega na zastosowaniu szablonu, który jest wypełniany elementami pobranymi z różnych baz danych danego portalu. Szablon, który sam może pochodzić z bazy szablonów, zapewnia zestandaryzowaną dla danego portalu (lub działu portalu) postać strony, a bazy danych dostarczają zmienne elementy (w tym tekst artykułu, reklamy, konfigurację formatowania, itp.). Odczytanie istoty pierwotnej informacji (czyli tekstu artykułu) z tak skonstruowanych witryn często staje się trudne bądź niewygodne dla użytkownika. W przypadku, gdy chcemy taką stronę zapisać, gromadzimy na dysku twardym kilkukrotnie więcej danych niż zajmuje interesująca nas treść. Ponadto, jeśli chcemy pobierać dane ze stron WWW i gromadzić do korpusu tekstów, by później je analizować (np. badania związane z przetwarzaniem języka naturalnego, wymagające dużej ilości próbek tekstowych), może się okazać, że nadmiar dodatkowych informacji nam to uniemożliwi lub wypaczy wyniki. Jak temu zaradzić, kiedy nie mamy bezpośredniego dostępu do bazy artykułów danego dostawcy treści? Z pomocą może przyjść algorytm wykrywania treści na stronach portali internetowych.

Za właściwą treść strony WWW uznajemy tekst artykułu wraz z jego nagłówkiem. Projektowany algorytm wykrywania treści w założeniu ma automatycznie wykryć treść artykułu z pominięciem innych znajdujących się na stronie napisów, takich jak: reklamy, komentarze, podpisy pod obrazkami itp. Chcielibyśmy, aby projektowany algorytm był uniwersalny, czyli samoczynnie dopasowywał się do wskazanego portalu i był odporny na zmiany struktury przez autorów czy administratorów odpowiedzialnych za formatowanie stron mających zawierać artykuły.

Docelowo zaprojektowany algorytm został wykorzystany w aplikacji tworzącej korpusy językowe na bazie artykułów umieszczanych na stronach portali internetowych, która cały czas periodycznie pobiera artykuły z portali.

## 2. Aktualnie stosowane algorytmy i systemy wykrywania treści

Natrafiono na kilka komercyjnych przykładów zastosowania algorytmu wykrywania treści. Jednym z nich jest moduł Reader w przeglądarce Apple® Safari od wersji 5 (opublikowanej w czerwcu 2010 roku). Reader pozwala wyświetlić treść artykułu w wygodnej do czytania formie: na białym tle, bez banerów reklamowych (często animowanych, co dodatkowo rozprasza czytelnika), bez zbędnego tekstu menu, komentarzy, itp. W niedługim czasie pojawiła się wtyczka (*plugin*) iReader o podobnej funkcjonalności dla przeglądarek Mozilla Firefox oraz Google Chrome. Kod źródłowy Safari Reader jest zamknięty, a iReader obfuskowany (celowo zaciemniony, w taki sposób, aby jego

rozumienie przez człowieka było znacznie utrudnione), więc nie wiadomo do końca, na jakiej zasadzie pracują. Jednak po analizie działania można wnioskować, że użyte w nich algorytmy bazują na podobnych założeniach co prezentowany algorytm. Takie wnioski można wysunąć na podstawie zbliżonych problemów z rozpoznawaniem treści, na tych samych stronach.

### 3. Algorytm wykrywania treści

Tradycyjne podejście do wyszukania treści pozwala pracować tylko z jednym, wybranym portalem (lub jego częścią), pod warunkiem dokonania wcześniejszej analizy budowy i wyróżnieniu poszczególnych części witryny [4]. Przykładowo dla portalu RMF24: nagłówek to znacznik `<h1>` wewnątrz bloku `<div class="boxHeader">`, pierwszy akapit znajduje się w znaczniku `<p>` wewnątrz bloku `<div class="lead textContent">`, a następne akapity również w znaczniku `<p>`, jednak wewnątrz bloku `<div class="text textContent">`. Metoda ta jest szczególnie wrażliwa na zmianę struktury strony przez autora i posiada wszystkie wady, od których miał być wolny projektowany algorytm, a które zostały wymienione we wstępie.

Podejście zastosowane podczas projektowania omawianego algorytmu opiera się na analizie struktury kodu HTML, ale z pominięciem szczegółowych znaczników i atrybutów. Dzięki sprawdzaniu stosunkowo niewielkiej ilości elementów języka HTML oraz wyszukiwaniu jak najbardziej ogólnych warunków brzegowych udało się uniezależnić rozpoznawanie treści od konkretnego portalu [1]. Nie jest natomiast analizowany kod JavaScript ani style CSS (*Cascading Style Sheets* – kaskadowe arkusze styli). Algorytm otrzymał roboczą nazwę **PortalCrawler**.

Implementacja prototypowa została wykonana w języku Perl. Do analizowania stron wykorzystano pakiety `HTML::TreeBuilder` oraz `HTML::Element`, które na podstawie kodu HTML tworzą drzewo DOM (ang. *Document Object Model* - obiektowy model dokumentu) i pozwalają je wygodnie przeszukiwać.

#### 3.1. Metoda rozróżniania typów podstron

Kluczowym elementem algorytmu jest kryterium rozróżniania typów podstron, czyli stron zawierających artykuły, od tych, które ich nie zawierają. Na podstawie wcześniejszej analizy budowy stron WWW oraz standardu języka HTML [2] zdecydowano, że takim kryterium będzie znalezienie nagłówka i jest to warunek konieczny, ale niewystarczający do stwierdzenia, że na stronie znajduje się artykuł.

Podczas analizy wybranych portali zauważono, że nagłówek zwykle zawarty jest w tagu `<h1>` lub `<h2>`, a ponadto występuje również w meta znaczniku `<title>`. Z powyższą sytuacją mamy do czynienia w popularnych systemach CMS, używanych także przez duże firmy i redakcje dzienników na całym świecie. Sprawdzono: Drupal, Joomla!, Mambo, MediaWiki, PHP-Fusion, PHP-Nuke, TYPO3, WordPress, XOOPS. Warto zaznaczyć, że odnaleziona prawidłowość nie ma nic wspólnego z samym standardem języka HTML, a jest jedynie przykładem na spójne jego wykorzystanie na wielu badanych portalach.

Zdarza się, że na stronie występuje znacznik `<h1>`, który nie zawiera nagłówka artykułu, a jego zawartość występuje w treści meta znacznika `<title>` – dotyczy to najczęściej samej nazwy portalu. Stąd też wprowadzono minimalną długość nagłówka (domyślnie 18 znaków). Dodatkowo, jeśli znaleziono więcej potencjalnych nagłówków, jako właściwy uznawany jest ten, który występuje wcześniej wewnątrz meta znacznika `<title>`, gdyż taką prawidłowość zaobserwowano podczas analizowania struktury stron wybranych portali.

Jeżeli na stronie nie znaleziono nagłówka, to można poszukać odnośników do innych stron, które mogą zawierać artykuły. Zaobserwowano, że takie odnośniki znajdują się zazwyczaj wewnątrz list zwykłych (znacznik `<ul>`).

### 3.2. Wykrywanie treści artykułu

Jak wcześniej wspomniano, warunkiem koniecznym do uznania, że strona zawiera artykuł jest znalezienie nagłówka, natomiast warunkiem wystarczającym jest jednoczesne znalezienie bloku tekstu o długości większej niż pewna ustalona liczba znaków (domyślnie 280) poniżej nagłówka. Nagłówek okazał się znakomitym elementem brzegowym dla początku szukanej treści artykułu, natomiast znalezienie drugiego uniwersalnego elementu brzegowego, kończącego tekst, okazało się niezwykle trudne.

Po odnalezieniu nagłówka kolejnym krokiem jest obróbka wszystkich bloków `<div>` oraz `<span>`. Modyfikacja polega na usunięciu całego bloku lub bloków w nim zagnieżdżonych przez usunięcie fragmentu kodu HTML od początku znacznika otwierającego do końca odpowiadającego mu znacznika zamykającego, a więc łącznie z zawartym w nim tekstem oraz podrzędnymi znacznikami.

Z bloków usuwane są wszystkie zagnieżdżone znaczniki, z wyjątkiem tych odpowiedzialnych za formatowanie tekstu (`<p>`, `<span>`, `<blockquote>`, `<a>`, `<b>`, `<i>`, `<u>`, `<strong>`, `<small>`, `<h2>` ... `<h7>`) oraz innych wykorzystywanych do późniejszej analizy (`<br>`, `<img>`). Należy tutaj zwrócić uwagę na podwójną rolę znacznika `<span>`, który jest wykorzystywany w dwojaki sposób, tj. jako element grupujący oraz formatujący. Zdarza się, że rodzi to pewne problemy podczas rozpoznawania, tzn. jego pominięcie może skutkować wycięciem fragmentu sformatowanego tekstu, a pozostawienie może skutkować pojawieniem się np. podpisów spod obrazków w wynikowym tekście. W każdym bloku z początku i końca zostają usunięte fragmenty niebędące zdaniami, gdzie jako zdanie uważany jest tekst, który zaczyna się od dużej litery i kończy kropką, wykrzyknikiem lub pytajnikiem. W tak przetworzonych blokach obliczana jest długość pozostałego tekstu, przy czym należy uwzględnić tekst leżący bezpośrednio w bloku typu `<div>` oraz tekst leżący wewnątrz ewentualnie występujących znaczników `<p>`. Bloki, w których długość ta jest mniejsza niż ustalono (domyślnie 4 znaki), są pomijane.

Następnie wybierany jest blok z tekstem o największej długości – jest to główna treść artykułu. Aby wykluczyć, że jest to strona z samymi streszczeniami artykułów lub komentarzami, konieczne jest sprawdzenie, czy nie ma więcej niż ustalono (domyślnie 6) bloków z tekstem o podobnej długości (dłuższym niż połowa długości obecnego bloku). Do odszukania pozostaje pierwszy akapit tekstu, który leży zawsze pomiędzy znalezionym nagłówkiem a główną treścią, czasami w więcej niż jednym bloku, a jego minimalna długość wynosi domyślnie 90 znaków.



Dzięki usuwaniu z bloków wszystkich wymienionych wcześniej znaczników podrzędnych, z tekstu artykułu pomijane są wszelkie niechciane elementy (np. reklamy, bloki „Zobacz także”, podpisy pod obrazkami, itd.). Dodatkowo kasowane są bloki `<span>` zawierające co najmniej jeden znacznik `<img>` oraz krótki tekst (domyślnie mniej niż 90 znaków). Dzięki temu pozbyć się można wszystkich podpisów pod zdjęciami. Elementów `<span>` nie można usunąć analogicznie do pozostałych znaczników, gdyż pełnią one również rolę formatującą tekst i takie działanie prowadziłyby do usunięcia części treści (często nawet pojedynczych wyrazów).

### 3.3. Wady algorytmu PortalCrawler

Zaprojektowany algorytm nie jest wolny od wad. W trakcie realizacji badań wykryto następujące aspekty wymagające dopracowania:

1. Jeżeli pierwszy paragraf tekstu nie jest umieszczony w bloku razem z pozostałą treścią, ani nie leży wewnątrz jednego ze znaczników grupujących (`<div>`, `<span>`, `<p>`, `<h2 ... h7>`) to nie zostanie on wykryty;
2. Jeżeli nie wykryto bloku komentarzy (element zawierający wykrywane słowo „Komentarze” lub „Opinie” nie istnieje, albo jest ładowany za pomocą JavaScript – przykład dla portalu Wirtualna Polska) i jednocześnie treść jednego z komentarzy jest dłuższa od tekstu artykułu, to komentarz ten zostaje rozpoznany, jako treść na stronie;
3. W przypadku gdy pierwszy wydzielony akapit tekstu jest dłuższy niż pozostała część artykułu, ta pozostała część zostaje pominięta;
4. W przypadku gdy pierwszy wydzielony akapit tekstu jest krótszy niż ustalono, (domyślnie 90 znaków) to zostanie on pominięty;
5. Jeżeli fragment tekstu wyświetlany jest w liście zwykłej (znacznik `<ul>`), to zostanie on pominięty;
6. Domyślnie nie są wspierane strony, których budowa oparta jest o tabele, a których treść nie jest dodatkowo ujęta w bloki grupujące `<div>` lub `<span>`;
7. Jeżeli na danej stronie nagłówek artykułu nie jest umieszczony wewnątrz znacznika `<h1>` bądź `<h2>`, to automatyczne rozpoznanie treści staje się niemożliwe. Z tego względu algorytm wyposażono w możliwość jawnego wskazania bloku zawierającego nagłówek, jednak przeczy to założonej uniwersalności;
8. Strona z fragmentami innych artykułów zostaje rozpoznana jako artykuł, jeżeli występuje duża dysproporcja pomiędzy długością fragmentów.
9. Podpisy pod obrazkami wchodzą w skład tekstu, jeżeli nie są wydzielone do podrzędnego bloku `<div>` lub są w bloku `<span>`, a ich długość jest większa niż ustalono (domyślnie 90 znaków);
10. W przypadku artykułów, których treść występuje więcej niż w dwóch wydzielonych blokach grupujących, zostanie rozpoznana tylko część treści (dwa lub trzy najdłuższe fragmenty);
11. W przypadku ładowania tekstu z następnych stron za pomocą JavaScriptu (z sytuacją taką można się spotkać w niektórych działach portalu Gazeta.pl) zostanie rozpoznana tylko część z pierwszej strony.

Zanim prezentowany algorytm uzyskał obecny kształt, próbowano innych podejść do wykrycia treści, w tym np. odszukanie najmniejszego bloku zawierającego nagłówek i duży fragment tekstu. Podejścia te od początku wykazywały małą dokładność i tendencję do zbierania nadmiarowej ilości danych ze strony.

Wymienione aspekty mają swoje odzwierciedlenie w skuteczności algorytmu, która zostanie omówiona w części dotyczącej oceny poprawności działania. Każdy z wymienionych punktów można jeszcze dopracować, przy czym należy zwrócić uwagę na fakt, że większość z nich może być o tyle trudna do dopracowania, że ich wdrożenie zachwieje stabilnością działania algorytmu. Może nawet skutkować powstaniem nowych sytuacji, w których wykrywanie będzie niepoprawnie wykonywane. W przyszłości wyniki działania tego algorytmu można poprawić np. przez dodatkową analizę kodu stylów CSS albo wykorzystanie elementów sztucznej inteligencji, które na podstawie podanych przykładów poprawnego i błędnego rozpoznania treści na danym portalu potrafiłyby radzić sobie lepiej z wykrywaniem interesujących nas elementów na stronach internetowych.

#### 4. Ocena poprawności działania

Jedynym możliwym sposobem na ocenę poprawności rozpoznania treści artykułów jest porównanie przez człowieka treści całej oryginalnej strony internetowej z tekstem rozpoznawym. Automatyczna analiza semantyki tekstów byłaby bardzo trudna, jeśli w ogóle możliwa do zrealizowania.

##### 4.1. Kryterium oceny i metodologia badania

Ustalono, że zebrane zostaną artykuły z polskojęzycznych portali informacyjnych o niejednorodnej tematyce, dla których przeprowadzana była analiza budowy oraz z co najmniej takiej samej liczby innych portali, niebędących w zestawieniu. Artykuły powinny być zbierane i rozpoznawane na przestrzeni kilku dni, aby wykluczyć wrażliwość na drobne zmiany struktury strony bądź tymczasowo prezentowane elementy (np. blok z życzeniami świątecznymi). Następnie zostanie sprawdzona poprawność rozpoznania treści minimum 100 artykułów wybranych losowo dla każdego portalu biorącego udział w badaniu.

Przyjęto, że treść artykułu została poprawnie rozpoznana, gdy jednocześnie:

1. Poprawnie rozpoznano nagłówek artykułu;
2. Poprawnie rozpoznano pierwszy akapit artykułu (zazwyczaj prezentowany pogrubioną czcionką);
3. Poprawnie rozpoznano pozostałą treść artykułu;
4. Pominięto informacje niebędące bezpośrednio częścią artykułu (data publikacji, autor, podpisy pod zdjęciami, bloki „Zobacz również” itp.);
5. Pominięto treść będącą częścią strony, a nie samego artykułu (tekst menu, reklamy, komentarze itp.);
6. Wynikowy tekst tworzy spójną, logiczną całość (zakładając, że tekst źródłowy również taki był).

Nie wszystkie przypadki sprawdzania poprawności są jednak proste do rozstrzygnięcia i zdarza się, że kilka osób może mieć odmienne zdanie na temat tego, czy dany fragment strony WWW zaliczyć do artykułu, czy też nie. Najwięcej wątpliwości budzą nagłówki umieszczone nad poszczególnymi partiami akapitów. W przypadku niejednoznaczności w ocenie kierowano się, poza wiernością oddania tekstu oryginalnego, możliwym niekorzystnym wpływem danego fragmentu na tworzony korpus językowy.

Wskaźnikiem, który będzie badany jest dokładność, określony analogicznie do definicji używanej w przypadku oceniania poprawności wyników wyszukiwarek internetowych [3]:

$$\text{dokładność} = \frac{\text{liczba artykułów rozpoznanych poprawnie}}{\text{liczba wszystkich artykułów}} \times 100\%$$

Wskaźnik ten zostanie obliczony dla reprezentatywnego zbioru artykułów wybranych do oceny poprawności działania algorytmu.

## 4.2. Wyniki badania

Poprawność zbadano dla 14 portali o różnej tematyce (Tabela 1). Okazało się, że algorytm dla portali, dla których przeprowadzono wstępną analizę, niekoniecznie uzyskał najlepsze wyniki. Poprawność wykrywania treści zależy głównie od:

1. W jakich i w ilu blokach umieszczony jest szukany tekst?
2. Czy i w jaki sposób pomiędzy tekstem artykułu umieszczane są dodatkowe bloki?
3. Jaka jest długości tekstu artykułu (krótkie notatki przysparzają więcej problemów)?

Finalnie średnia dokładność algorytmu wykrywającego treść na portalach internetowych dla zbadanej próbki artykułów (sprawdzono łącznie 2098 stron z 14 portali) wyniosła **91,3%**, a odchylenie standardowe **8,4%**. Uzyskany wynik uznaje się za zadawalający, zwłaszcza że można wskazać sześć portali, dla których dokładność jest większa niż 95% oraz jeden, dla którego osiągnięto rezultat 100%.

Dokonano również obserwacji, z której wynika, że znaczna większość błędów rozpoznawania powiela się w obrębie danego portalu. Stąd też bardzo słaby wynik działania algorytmu dla portalu Interia, gdzie głównym problemem były działy, w których podpisów pod zdjęciami nie wydzielono osobnym blokiem, a na końcu artykułów przez pewien okres czasu znajdował się tekstowy materiał reklamowy, również niewydzielony do osobnego bloku.



Rys. 1. Dokładność wykrywania treści dla poszczególnych portali (opracowanie własne)

Fig. 1. Accuracy of content detection for individual portals (own)

Wyniki sprawdzania poprawności rozpoznania treści

Nazwaportalu	Liczba zebranych artykułów	Liczba oznaczonych artykułów	Liczba oznaczonych, jako poprawne	Liczba oznaczonych, jako błędne <sup>1</sup>	Dokładność
Dziennik Internautów www.di.com.pl	119	119	108	0/0/4/7	90,8 %
F1 Portal www.f1portal.pl	152	152	152	0/0/0/0	100 %
Gazeta * www.gazeta.pl	207	131	125	4/0/2/0	95,4 %
Interia * www.interia.pl	129	129	88	0/20/6/15	68,2 %
International Data Group www.idg.pl	108	108	104	0/0/0/4	96,3 %
Money * www.money.pl	269	205	168	0/35/1/1	82,0 %
Nasze miasto Kraków www.krakow.naszemiasto.pl	123	123	105	2/2/6/8	85,4 %
Onet * www.onet.pl	192	165	149	6/3/4/3	90,3 %
RMF 24 * www.rmfm24.pl	856	227	224	2/0/1/0	98,7 %
Ściąga www.sciaga.pl	231	172	167	0/0/4/1	97,1 %
Sport www.sport.pl	205	130	124	0/2/4/0	95,4 %
TVN 24 www.tvn24.pl	269	138	128	1/8/1/0	92,8 %
Wirtualna Polska * www.wp.pl	179	114	102	4/0/6/2	89,5 %
Wyborcza Biznes www.wyborcza.biz	189	185	178	1/1/5/0	96,2 %
Łącznie	3228	2098	1922	20/71/44/41	Średnia 91,3 %

\* Portale, na których dokonano analizy budowy.

Opracowanie własne autora

<sup>1</sup> Z podziałem na kategorie: inne/brak pierwszego akapitu/brak części tekstu/reklamy lub podpisy

Podczas sprawdzania i oznaczania artykułów przy pomocy przygotowanej do tego celu aplikacji osoba sprawdzająca musiała wskazać jedną z kategorii błędów, jeżeli treść została rozpoznana nieprawidłowo. W przypadku wystąpienia większej liczby nieprawidłowości wybierano przypadek poważniejszy, który w większym stopniu dyskwalifikował pobraną treść:

1. Brak pierwszego akapitu – pierwsza część tekstu prezentowana pogrubioną czcionką zawarta jest najczęściej w innym bloku niż reszta tekstu, stąd możliwe błędy podczas rozpoznawania;
2. Brak części tekstu – nie wykryto treści w ogóle, treść jest niekompletna, obcięty jest fragment tekstu itp.;
3. Reklamy lub podpisy – w zapisanej treści znalazły się reklamy, fragmenty bloków typu „Zobacz także”, podpisy zdjęć itp.;
4. Inne – pozostałe błędy, w tym przypadki uznania za artykuł strony, która go nie zawierała.

Najczęstszym błędem było nierozpoznanie pierwszego akapitu tekstu, kolejnym brak części artykułu. Znalaziono również jeden przypadek nieprawidłowego wykrycia nagłówka, ale rozpoznany tekst był jego fragmentem.

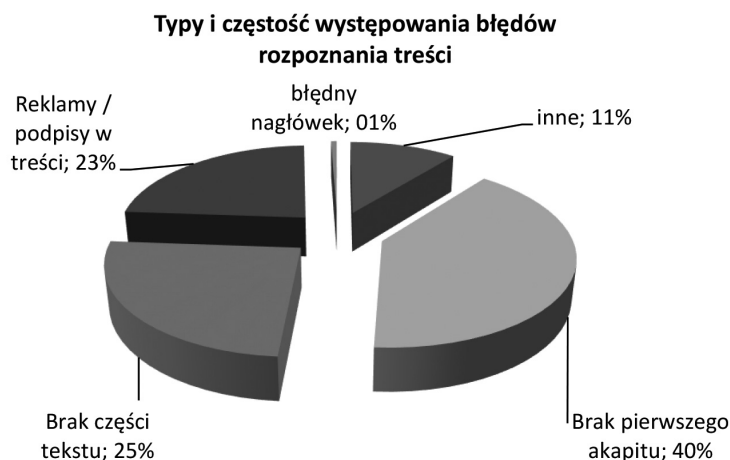
Dokonano również porównania rozpoznawania treści przez prezentowany algorytm ze wspomnianymi narzędziami komercyjnymi. Sprawdzono po 10 losowo wybranych stron (w tym 5 rozpoznanych przez PortalCrawler nieprawidłowo, jeśli tyle znaleziono) dla każdego z 14 badanych portali. Safari Reader oraz iReader największe problemy sprawiało wykrycie pierwszego akapitu tekstu i znalezienie treści krótkich artykułów.

Wyniki porównania PortalCrawler z Apple® Safari Reader kształtują się następująco:

- W 31,4% przypadków otrzymano te same wyniki;
- W 15,7% przypadków Safari Reader zwrócił poprawne wyniki, a PortalCrawler nie;
- W 52,9% przypadków Safari Reader zwrócił niepoprawne wyniki a PortalCrawler tak.

Wyniki porównania PortalCrawler z pluginem iReader kształtują się następująco:

- W 36,4% przypadków otrzymano te same wyniki;
- W 14,3% przypadków iReader zwrócił poprawne wyniki, a PortalCrawler nie;
- W 49,3% przypadków iReader zwrócił niepoprawne wyniki, a PortalCrawler tak.



Rys. 2. Typy i powszechność występowania błędów rozpoznawania (opracowanie własne)

Fig. 2. Types and prevalence of recognition errors (own)

## Literatura

- [1] Hemenway K., Calishain T., *100 sposobów na tworzenie robotów sieciowych*, Helion, Warszawa 2004.
- [2] Kłopotek M., *Inteligentne wyszukiwarki internetowe*, Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit, Warszawa 2001.
- [3] Markov Z., Larose D., *Eksploracja zasobów internetowych. Analiza struktury, wartości i użytkowania sieci WWW*, PWN, Warszawa 2009.
- [4] Hłybin M., *Web scraping for fun and profit – Ekstrakcja danych ze stron WWW*, ([http://marcinhlybin.com/slides/scraping\\_article.pdf](http://marcinhlybin.com/slides/scraping_article.pdf) – odczyt z dnia 10.06. 2011).

MATEUSZ BIERNACKI, KRZYSZTOF RZECKI\*

## URZĄDZENIE DO ZDALNEJ ADMINISTRACJI SERWEREM

---

### REMOTE SERVER ADMINISTRATION DEVICE

#### Streszczenie

Do zdalnej administracji najczęściej wykorzystywane są aplikacje uruchomione na danej maszynie. W sytuacji awarii aplikacje te mogą nie zostać uruchomione, przez co administrator traci możliwość zdalnego zarządzania. Artykuł przedstawia rozwiązanie tego problemu przez wykorzystanie zewnętrznego urządzenia. Sprzętowe rozwiązanie jest niezależne od zarządzanej maszyny. Zastosowanie łatwo dostępnych i tanich komponentów znacznie ogranicza koszt budowy jednocześnie funkcjonalność jest porównywalna do rozwiązań komercyjnych.

*Słowa kluczowe: zdalna administracja, KVM over IP, VNC*

#### Abstract

The remote administration often used applications running on the machine that is managed. In case of failure these applications may not be run what the administrator loses the ability to remotely manage. The paper presents the solution to this problem by using an external device. The hardware solution is independent of the managed machine. Use of easily available and inexpensive components significantly reduces the cost of device while the functionality is comparable to commercial solutions.

*Keywords: remote administration, KVM over IP, VNC*

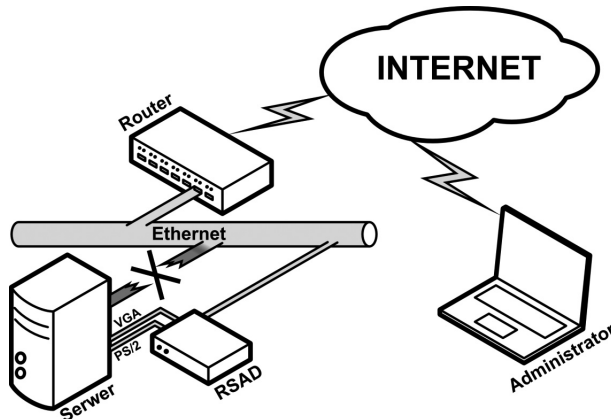
---

\* Inż. Mateusz Biernacki, dr inż. Krzysztof Rzecki, Instytut Teleinformatyki, Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Artykuł porusza problem polegający na braku możliwości zdiagnozowania stanu i ewentualnej awarii serwera w przypadku, gdy usługi zdalnego dostępu, takie jak SSH czy Telnet, nie odpowiadają na próby połączenia. W takiej sytuacji administrator zmuszony jest osobiście odwiedzić miejsce, w którym znajduje się dana maszyna, co często jest utrudnione albo niemożliwe w krótkim czasie. Należy również pamiętać o kosztach związanych z ewentualnym dojazdem lub karach naliczanych za przerwę w dostarczaniu usług, jakie świadczyła uszkodzona maszyna.

Rozwiązaniem powyższego problemu jest budowa urządzenia do zdalnej administracji serwerem RSAD (*Remote Server Administration Device*), które umożliwiałoby zdalne zdiagnozowanie komputera. Urządzenie takie musiałyby działać niezależnie od systemu zainstalowanego na danej maszynie. Administrator posiadałby możliwość zdalnego zalogowania się na urządzeniu i skontrolowania aktualnego stanu ekranu. Jednocześnie mógłby wprowadzać komendy za pomocą klawiatury.



Rys. 1. Zasada działania urządzenia do zdalnej administracji serwerem RSAD

Fig. 1. Principle of operations of the Remote Server Administration Device RSAD

Te podstawowe funkcje pozwoliłyby zdiagnozować problemy sprzętowe, takie jak uszkodzony dysk lub problem z kartą sieciową. Szczególnie pomocna byłaby możliwość oglądnięcia informacji pochodzących z momentu startu maszyny, w którym wspomniane usługi SSH czy Telnet nie są jeszcze uruchomione.

## 2. Rozwiązania komercyjne

Dostępne aktualnie rozwiązania realizujące przedstawione we wstępie założenia nie są zbyt popularne, więc nie istnieje zbyt duża konkurencja wśród producentów. Pozwoliło to na sztuczne zawyżanie cen produktów, które nie są adekwatne do kosztów produkcji i zastosowanych wewnątrz technologii. Wśród nich znajdują się D-Link DKVM-IP1, ATEN CN8000

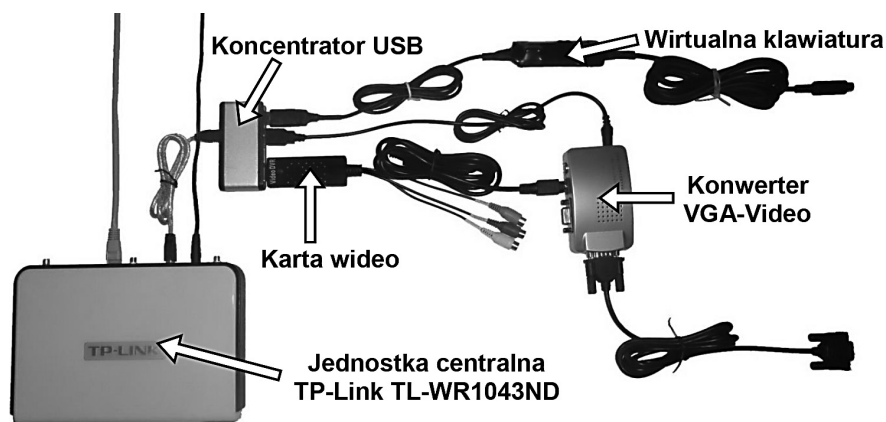


i AdderLink IPEPS. Wszystkie wyposażone są w port VGA, dzięki któremu urządzenie pozyskuje obraz. Dwa porty PS/2 umożliwiają sterowanie zdalną maszyną. W zależności od modelu możliwa jest praca z rozdzielczościami nawet 1600 na 1200 pikseli. Połączenie między klientem a urządzeniem może być szyfrowane. Produkty firmy ATEN oraz AdderLink pozwalają na bezpośrednie przesyłanie plików do zdalnej maszyny przez wykorzystanie dodatkowego portu USB. Funkcja ta nosi nazwę VirtualMedia i pozwala również na instalowanie wirtualnego napędu na zdalnej maszynie, co w przypadku poważnej awarii znacznie ułatwi proces przywracania systemu operacyjnego. Model CN8000 wyposażony jest w dodatkowy port, na którym wyprowadzono sygnał PON (*Power On The Net*), umożliwiający uruchomienie zdalnej maszyny. Ceny powyższych produktów wahają się od 1500 zł do 3000 zł.

Koszt zaprojektowanego urządzenia jest znacznie niższy od ceny przedstawionych powyżej produktów komercyjnych, co stanowi jego główny atut. Za wszystkie elementy potrzebne do budowy urządzenia należy zapłacić około 400 zł. Dodatkowo w finalnym produkcie można umieścić podzespoły na jednej płycie drukowanej oraz zrezygnować z części dublujących się elementów, takich jak układy zasilania. Takie rozwiązanie przyczyniłoby się do zmniejszenia kosztów produkcji. Pod względem parametrów urządzenie oferuje mniejszą rozdzielczość obrazu oraz nie posiada tak wielu funkcji, jak prezentowane wyżej produkty. Jednak z jednej strony w praktyce w znakomitej większości przypadków nie są bezwzględnie wymagane, a z drugiej strony można je dodać przez modyfikację i rozbudowę oprogramowania.

### 3. Projekt realizacji sprzętowej

Realizację projektu podzielono na dwie części. Pierwszą z nich dotyczy budowy, a w zasadzie zestawienia sprzętu będącego w stanie wykonać założenia projektu, drugą natomiast jest oprogramowanie sprzętu i osiągnięcie pełnej funkcjonalności. Zbudowane urządzenie do zdalnej administracji serwerem RSAD w większości składa się z gotowych produktów, wyjątek stanowi moduł przesyłający sygnały sterujące (klawiatury) do komputera.



Rys. 2. Budowa urządzenia do zdalnej administracji RSAD

Fig. 2. Construction of RSAD

Urządzenie RSAD składa się z jednostki centralnej, która odpowiada za komunikację z użytkownikiem. Element ten pozyskuje informacje o obrazie oraz przekazuje sygnały sterujące. Z powodu ograniczeń w ilości portów koniecznym było zastosowanie koncentratora USB. Urządzeniem odpowiedzialnym za przechwytywanie obrazu jest karta wideo na USB (Video Grabber USB). Z uwagi, iż karta ta jest w stanie odbierać sygnał jedynie w standardzie S-Video lub Composite Video, (serwery najczęściej wyposażone są w interfejs D-SUB VGA) wykorzystano sprzętowy konwerter sygnałów. Do przekazywania sygnałów sterujących zbudowano układ symulujący pracę klawiatury na PS/2. Komunikacja z układem odbywa się za pomocą portu COM, uzyskanego dzięki konwerterowi USB-COM.

### 3.1. Jednostka centralna

Jednostkę centralną w budowanym urządzeniu stanowi router firmy TP-Link TL-WR1043ND. Przetwarzanie obrazu jest procesem wymagającym, przez co niezbędne było wykorzystanie stosunkowo mocnego procesora i pamięci RAM o znacznej wielkości. Jeżeli zachodzi potrzeba wykorzystania większych zasobów, dużo łatwiej zarządzać nimi za pośrednictwem systemu operacyjnego. Tym sposobem ukształtowały się podstawowe wymagania stawiane jednostce centralnej. Opisane urządzenie dodatkowo musiało posiadać port USB. Jak wynika z założeń projektu konieczna jest możliwość podpięcia do sieci Ethernet, w celu komunikacji ze zdalnym klientem.

Analizując rynek, trafiono na kilka propozycji, które spełniały założone wymagania. Głównym powodem dla którego został wybrany router firmy TP-Link, to stosunek ceny do możliwości. TL-WR1043ND jest bezprzewodowym routerem pracującym w standardzie IEEE 802.11n, dodatkowo posiada gigabitowy przełącznik. Oparty jest na procesorze Atheros AR9132 taktowany 400MHz. Wyposażony w 32MB pamięci RAM oraz port Host USB 2.0. Dla przykładu firma Propox oferuje minimoduł MMnet1002 oparty na procesorze ARM9 taktowany częstotliwością 400Mhz, 64MB pamięci RAM z dwoma portami Host USB 2.0 oraz portem Ethernet 100Mb/s. Parametry tego modułu idealnie wpasowują się w stawiane wymagania. Cena to około 430 zł. Wykorzystany router kosztuje około 200 zł, mimo że jego parametry nieznacznie odbiegają od wspomnianego produktu MMnet1002.

Z oprogramowaniem dostarczonym przez producenta router działa jak klasyczny punkt dostępowy. Jednak od najprostszycych tego typu rozwiązań, urządzenie to wyróżnia się możliwością zainstalowania otwartego oprogramowania.

Firmy Linksys, TP-Link oraz D-Link wykorzystwały w swoich produktach oprogramowanie udostępnione na licencji GNU GPL, przez co były zmuszone upublicznić wszystkie zmiany w kodzie, niezbędne do poprawnej pracy swoich urządzeń. Korzystając z tych informacji, stworzono wiele otwartych wersji oprogramowania dla tych urządzeń, między innymi OpenWRT, Tomato czy DD-WRT. Oprogramowanie to poza dostarczaniem podstawowej funkcjonalności, daje przede wszystkim możliwość uruchamiania własnego kodu oraz instalowanie urządzeń innych niż przewidziane przez producenta.

Poniżej opisano krok po kroku sposób przygotowania przedstawionego routera do pracy zgodnie z postawionymi oczekiwaniami. W pierwszej kolejności należy pobrać niezbędne programy. Pierwszym z nich jest subversion, czyli system kontroli wersji. Za jego

pomocą pobrano aktualną wersję systemu OpenWRT. Na systemie posiadającym menadżer pakietów APT można zainstalować program za pomocą komendy:

```
apt-get install subversion
```

Kolejnym krokiem jest pobranie aktualnej wersji źródeł systemu OpenWRT z serwera SVN. Wykonuje się to poprzez wprowadzenie komendy:

```
svn co svn://svn.openwrt.org/openwrt/branches/backfire
```

Następnie należy wejść do nowo utworzonego katalogu backfire i uruchomić menu konfiguracji:

```
make menuconfig
```

Przed uruchomieniem, aplikacja sama sprawdza, czy nasz system posiada niezbędne narzędzia, takie jak flex czy bzip2. Brakujące programy należy pobrać za pomocą menadżera APT.

Menu konfiguracyjne to wygodna w obsłudze aplikacja o opcjach ułożonych w formie drzewa. Zadaniem użytkownika jest wybranie odpowiednich komponentów systemu OpenWRT, niezbędnych do poprawnej pracy routera. Należy pamiętać, aby ograniczyć ilość komponentów ze względu na małą ilość pamięci RAM zainstalowanej w urządzeniu. Będzie ona dodatkowo potrzebna do poprawnej pracy aplikacji serwera, udostępniającego zdalnie obraz nadzorowanej maszyny. Względem podstawowej konfiguracji trzeba wybrać:

- poprawną rodzinę urządzeń – Atheros AR71xx,
- moduły odpowiedzialne za obsługę interfejsu USB: kmod-usb-core i kmod-usb2,
- moduł odpowiedzialny za wsparcie urządzeń wideo V4L: kmod-video-core,
- moduł odpowiedzialny za obsługę portu COM na USB: kmod-usb-serial-pl2303.

Niektóre z elementów ze względu na zależność od siebie same zostaną wybrane do wynikowego oprogramowania. Następnym krokiem w przygotowaniu routera do pracy jest kompilacja oprogramowania. Wykonuje się ją za pomocą komendy:

```
make
```

Jest to proces dość czasochłonny, podczas którego program sam pobiera brakujące składniki. Wstępnie skompilowane zostaną narzędzia wykorzystane później do właściwej kompilacji oprogramowania. Cały folder może zwiększyć swój rozmiar nawet do 3GB, a wynikowy plik, który zostanie wgrany na urządzenie powinien zajmować około 3MB. Oczywiście można by wykorzystać gotowe oprogramowanie udostępnione przez twórców OpenWRT, a następnie dograć niezbędne moduły. Jednak taki system zawiera znaczną ilość niepotrzebnych składników, które zajmują zarówno pamięć Flash (dyskową) jak i pamięć operacyjną RAM. Dodatkowym powodem, dla którego trzeba było wykonać tę czasochłonną operację jest fakt, iż późniejsza kompilacja własnych modułów (sterownika dla urządzenia video), czy aplikacji serwera będzie korzystać z tak przygotowanych źródeł.

Po skompilowaniu należy na stronie służącej konfiguracji routera w zakładce aktualizacji oprogramowania wczytać odpowiedni plik:

```
openwrt-ar71xx-tl-wr1043nd-v1-squashfs-sysupgrade.bin
```

Producent urządzenia nie zablokował możliwości wgrywania oprogramowania pochodzącego z innego źródła. Zaznaczył przy tym, że operację taką wykonuje się na własną odpowiedzialność i wiąże się to z utratą gwarancji routera. Tak oprogramowany router pozbawiony będzie wygodnego interfejsu webowego. Jednak istnieje już możliwość zalogowania się na niego za pomocą protokołu SSH [5].

### 3.2. Interfejs przechwytywania obrazu VGA

Biorąc pod uwagę fakt, że urządzenie RSAD będzie współpracować z różnymi maszynami, powinno się za źródło obrazu wybrać najbardziej uniwersalne z gniazd. Takim gniazdem zapewne jest złącze monitorowe D-SUB VGA. Można je spotkać zarówno w starszych, jak i w nowych rozwiązaniach, gdyż jest to standard złącza monitorowego.

Przetwarzania obrazu bezpośrednio z portu VGA daje lepszą jakość obrazu, jednak wymaga zastosowania szybkich elementów elektronicznych. Jednocześnie przy tak szybkich przebiegach niezbędnym jest posiadanie odpowiedniego zaplecza laboratoryjnego, które pozwoliłoby na diagnozowanie ewentualnych problemów. W rezultacie istniałoby zbyt duże ryzyko niepowodzenia, dlatego postanowiono wykorzystać półprodukty w celu przechwycenia obrazu.

Tanim i łatwo dostępnym interfejsem jest się karta wideo na USB EasyCap DC60. Urządzenie jest w stanie przechwytywać obraz w standardzie S-Video i Composit Video oraz posiada popularny interfejs USB. Urządzenie przechwytuje obraz w maksymalnej rozdzielczości 720 na 576 pikseli. Wykorzystanie portu USB umożliwia podłączenie urządzenia do niemal każdego komputera. Producent zapewnia, że karta jest w stanie dostarczać 25 klatek na sekundę, jednak faktyczna ilość może zależeć od mocy obliczeniowej wykorzystanej maszyny. Z uwagi, iż produkt nie posiada interfejsu VGA niezbędne było zapewnienie odpowiedniej konwersji sygnałów. W tym celu również zastosowano komercyjny produkt. Video Converter może pracować z maksymalną rozdzielczością 1280 na 1024 piksele. Jednocześnie potrafi konwertować sygnał o bardzo niskich rozdzielczościach rzędu 640 na 480 pikseli, co pozwala zastosować je na potrzeby tego projektu. Zarówno karta wideo, jak i konwerter wyposażone są jednocześnie w oba złącza Composite Video oraz S-Video. Zdecydowano wykorzystać standard S-Video z uwagi na możliwość uzyskania lepszej jakości obrazu.

Do poprawnej pracy każdego urządzenia w systemie, niezbędnym elementem jest sterownik tego urządzenia. Producent wykorzystanej karty wideo dostarcza sterownik jedynie dla systemu Windows. W Internecie znaleziono kody źródłowe sterownika (modułu) dla systemu Linux. Po upewnieniu się, że sterownik działa na klasycznym sprzęcie należało skompilować źródła dla systemu OpenWRT. Należy pamiętać, że router wyposażony jest w procesor rodziny MIPS, przez co kompilacja wymaga zastosowania innego kompilatora. Wstępnie trzeba pobrać źródła sterownika z strony:

```
http://sourceforge.net/projects/easycapdc60/
```

Po pobraniu archiwum należy rozpakować plik do osobnego katalogu:

```
tar -xzf easycap_dc60.0.9.tar.gz
```

Kolejnym etapem jest drobna modyfikacja w plikach. Wynikają one z małej ilości dostępnej pamięci na routerze. Sterownik po podłączeniu urządzenia wstępnie alokuje 6 buforów ramki, gdzie każda z ramek może przechować maksymalny możliwy obraz. Tym sposobem alokowane jest około  $6 \times 1,6\text{MB} = 9,6\text{MB}$ . Dodatkowo alokowane są bufony dla dźwięku oraz pośrednie bufony obrazu. Łącznie sterownik alokuje ponad 16MB, co stanowi połowę dostępnej pamięci RAM. Z uwagi, iż nie będzie korzystał się z dźwięku część pamięci można odzyskać. Sterownik alokuje 6 buforów, jednak do poprawnej pracy wystarczą 2 z buforów, więc można zmniejszyć ich ilość. W tym celu w pliku `./src/easycap.h` należy zmodyfikować następujące linie:

```
#define FIELD_BUFFER_MANY 2
#define FRAME_BUFFER_MANY 2
```

Następnym etapem jest modyfikacja skryptu `./install.sh`, tak by był w stanie przygotować pliki Makefile (co jest jego głównym zadaniem) dla maszyny innej, niż na której zostanie uruchomiony. Pierwsza modyfikacja dotyczy wyłączenia obsługi dźwięku, przez co sterownik będzie wykorzystywał mniej zasobów. W tym celu należy zmodyfikować wartość zmiennej:

```
SND_USB_AUDIO=1
```

Następnie dodajemy deklaracje zmiennej `MAKE_ARCH`:

```
MAKE_ARCH=""if [ "x" != "x$2" ]; then
    if [ "x" != "x$3" ]; then
        MAKE_ARCH="ARCH=$2 CROSS_COMPILE=$3";
    fi
fi
```

Zmienna ta uzupełniana będzie argumentami wywołania skryptu. Teraz należy odszukać wszystkie wywołania programu `make` w skrypcie i do argumentów dodać zmienną `MAKE_ARCH`. Przykładowo linia 177, która wyglądała:

```
make -f tmpMakefile 1>./tmpsrc/tmp.out 2>./make.err
```

powinna wyglądać następująco:

```
make ${MAKE_ARCH} -f tmpMakefile 1>./tmpsrc/tmp.out 2>./make.err
```

Następnie należy wykonać skrypt z odpowiednimi parametrami. Jak już wspomniano, kompilacja oprogramowania dla routera ma jeszcze jeden cel i właśnie w tym momencie wykorzysta się narzędzia utworzone w trakcie kompilacji systemu OpenWRT. Pierwszy z argumentów to ścieżka do źródeł jądra systemu. Znajdują się one w katalogu:

```
/home/user/backfire/build_dir/linux-ar71xx/linux-2.6.32.27/
```

Kolejny argument określa architekturę, na jaką zostanie skompilowany sterownik. W tym wypadku będzie to MIPS. Ostatni argument określa prefiks, jaki zostanie dodany przed wywołaniem narzędzi do kompilacji. Dodanie tych parametrów pozwoli przygotować sterownik dla procesora w jaki wyposażony jest router. Cała instrukcja wywołująca proces konfiguracji oraz kompilacji sterownika dla karty video powinna wyglądać następująco:

```
./install.sh /home/user/backfire/build_dir/linux-ar71xx/linux-2.6.32.27/mips /home/user/backfire/staging_dir/toolchain-mips_r2_gcc-4.3.3+cs_uClibc-0.9.30.1/usr/bin/mips-openwrt-linux-uclibc-
```

Jeśli skompilowane źródła system OpenWRT oraz narzędzia znajdują się w innym miejscu niż podane w przykładzie, należy podać odpowiednie ścieżki do katalogów. Po zakończeniu procesu powinno się uzyskać plik `easycap.ko` w katalogu `./src/`. Aby upewnić się, że jest on przeznaczony dla odpowiedniej maszyny, można wywołać polecenie `file`:

```
file easycap.ko
```

```
easycap.ko: ELF 32-bit MSB relocatable, MIPS, MIPS32 rel2 version 1 (SYSV), with unknown capability 0x41000000 = 0xf676e75, not stripped
```

Tak wygenerowany moduł należy skopiować na router oraz zainstalować za pomocą polecenia `insmod`:

```
insmod easycap.ko
```

W tym momencie po podpięciu karty video EasyCap w systemie powinno pojawić się urządzenie `/dev/video0` [4].

### 3.3. Interfejs wirtualnej klawiatury

W urządzeniu do zdalnej administracji RSAD poza możliwością oglądania ekranu zdalnej maszyny niezbędne jest, by użytkownik mógł prowadzić komendy przez klawiaturę. Zazwyczaj nie ma możliwości wystawienia diagnozy usterki po samym ekranie, jaki aktualnie wyświetla maszyna. Z tego powodu koniecznym było przekazanie sterowania bezpośrednio do zdalnej maszyny. Dzięki zastosowaniu serwera x11vnc istnieje możliwość przekierowania sygnałów sterujących pochodzących z zdalnej maszyny do dowolnego programu.

Wykonano sprzętowe urządzenie, które będzie w stanie odbierać sygnały od routera, przez interfejs RS232, a następnie przekaże je do zarządzanej maszyny za pomocą portu klawiatury PS/2. O wyborze portu PS/2 zdecydował prosty algorytm transmisji oraz popularność występowania.

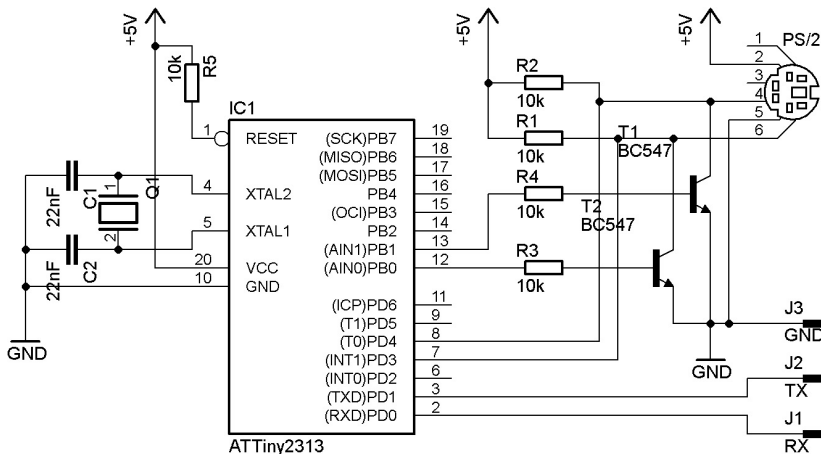
W celu przekazania sygnałów sterujących od serwera x11vnc do maszyny zbudowanego układu należało napisać prosty program parsujący dane i przesyłający je za pomocą portu COM. Program x11vnc wysyła dane w postaci:

```
Keysym 1 1 65505 Shift_L KeyPress
Keysym 1 1 75 K KeyPress
Keysym 1 0 75 K KeyRelease
Keysym 1 0 65505 Shift_L KeyRelease
```

Każda z linii odpowiada przyciśnięciu lub puszczeniu klawisza. Po otwarciu portu COM (urządzenie /dev/ttyUSB0), każda z odebranych linii jest mapowana na kod klawisza zgodny z protokołem PS/2. Przykładowo powyżej przedstawiona sytuacja wciśnięcia klawisza „K” z użyciem klawisza Shift w protokole PS/2 jest reprezentowana jako:

```
0x12 0x42 0xF0 0x42 0xF0 0x12
```

gdzie pierwszy bit odpowiada wciśnięciu lewego klawisza Shift, następnie przesłany jest kodu klawisza K, po czym następują kody oznaczające puszczenie tych klawiszy. Dane w takiej formie po przez port COM trafiają do mikrokontrolera.



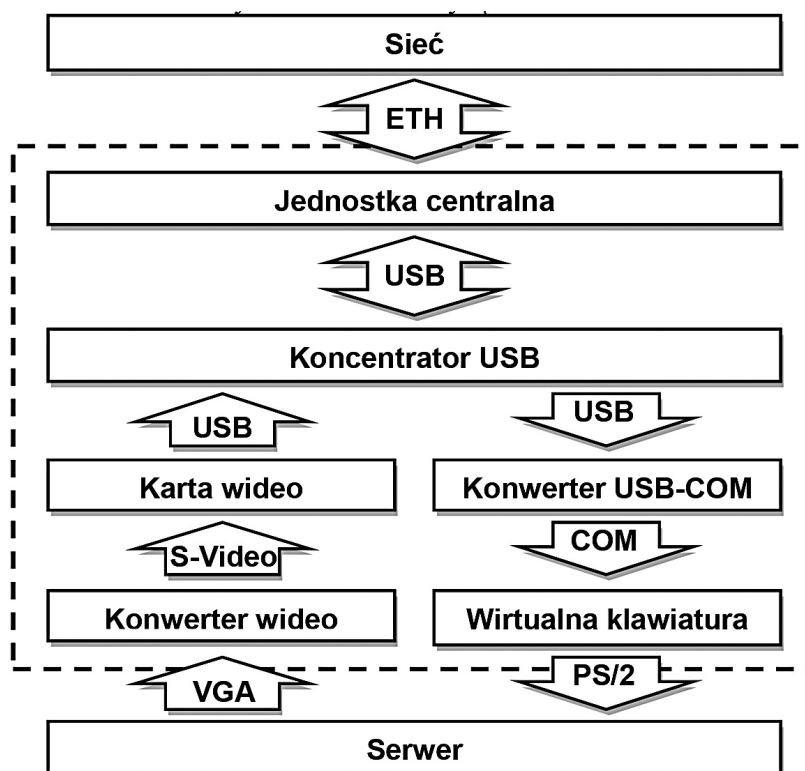
Rys. 3. Schemat układu symulującego prace klawiatury

Fig. 3. Virtual Keyboard schematic diagram

Układ symulujący prace klawiatury ma za zadanie przekazywać zdarzenia wciśnięcia lub puszczenia klawiszy do maszyny, pod którą jest podpięty. Budowa oparta jest o prosty mikrokontroler rodziny AVR ATTiny2313. Porty tego mikrokontrolera nie są w stanie pracować w układzie otwartego kolektora, co jest wymagane przy komunikacji PS/2. Z tego powodu koniecznym było zastosowanie kilku elementów zewnętrznych, takich jak tranzystory T1 oraz T2 i rezystory ograniczające prąd bazy R3 i R4. Rezystory R1 i R2 podciągają linie danych oraz linie zegarową do napięcia +5V. Układ zasilany jest bezpośrednio z portu PS/2. Za komunikację z routerem odpowiedzialny jest konwerter USB – COM oparty na układzie Prolific PL-2303 [2].

Program mikrokontrolera został napisany w języku C. Po inicjalizacji układów peryferyjnych (zegar, przerwanie zewnętrzne INT1 oraz układy transmisji UART), główna procedura programu zostaje zapętłona. Mikrokontroler w tym stanie oczekuje nadejścia przerwania na linii INT1 lub przerwania od wewnętrznego układu UART co rozpoczyna proces przesłania znaku między routerem a maszyną.

Na poniższym schemacie blokowym przedstawiono elementy składowe urządzenia do zdalnej administracji serwerem RSAD. W strzałkach zaznaczono interfejsy łączące poszczególne bloki. Kierunek strzałek obrazuje przepływ informacji.



Rys. 4. Schemat budowy urządzenia RSAD

Fig. 4. RSAD block diagram

## 4. Projekt realizacji oprogramowania

Podstawowym zadaniem projektowanego urządzenia jest udostępnianie zdalnemu użytkownikowi obrazu generowanego przez lokalną maszynę. Powstało kilka protokołów mających dokładnie takie przeznaczenie. Najbardziej rozpowszechnionym, a zarazem spełniającym wszystkie stawiane wymagania okazał się protokół RFB.

### 4.1. Protokół RFB

Protokół RFB (*remote framebuffer* – zdalny bufor ramki) jest prostym protokołem umożliwiającym zdalny dostęp do graficznego interfejsu użytkownika. Dzięki temu, że pracuje na buforze ramki, może współpracować z wszystkimi okienkowymi systemami, takimi jak X11, Windows czy Macintosh. Protokół RFB jest używany przez aplikacje typu VNC (Virtual Network Computing). Zdalna strona, gdzie znajduje się użytkownik posiadający ekran z klawiaturą i/lub myszą, jest nazywana klientem RFB. Strona, na której zachodzą zmiany w buforze ramki, czyli tam gdzie faktycznie system okienkowy się znajduje nazywana jest serwerem RFB.

Protokół RFB bazuje na koncepcji „cienkiego klienta”. Przy projektowaniu kładziono nacisk, by zmniejszyć do minimum wymagania stawiane stronie klienta. Dzięki temu klient może pracować na niemal każdym sprzęcie, a implementacja aplikacji klienckich powinna być bardzo prosta.

Przekazywanie obrazu opiera się o prostą zasadę: „umieść prostokąt pikseli w danym punkcie  $x, y$ ”. Jest to mało efektywny, ale zarazem bardzo prosty sposób na rysowanie dowolnych składników graficznego interfejsu użytkownika. Dodając różne możliwości kompresji danych, otrzymujemy bardzo elastyczny protokół, który możemy parametryzować ze względu na przepustowość łącza, szybkość działania klienta czy serwera.

Żądanie zmiany kilku obszarów składa się na aktualizację całego bufora ramki. Aktualizacja bufora jest przesyłana od serwera na żądanie klienta. Dzięki temu klient sam decyduje o jakości obrazu, przez częstsze lub rzadsze żądania aktualizacji. Pozwala to na ograniczenie ilości transmitowanych danych, w zależności od przepustowości połączenia.

Część protokołu odpowiedzialna za przekazywanie sygnałów sterujących bazuje na klasycznej stacji roboczej z klawiaturą oraz myszą. Zdarzenia sygnałów wejściowych są przesyłane od klienta do serwera za każdym razem, gdy użytkownik wciśnie przycisk na klawiaturze, myszce lub przesunie wskaźnik.

Od kodowania zależy, w jaki sposób dane o aktualizowanym obszarze zostaną przesłane do klienta. Każdy obszar jest poprzedzony nagłówkiem zawierającym informacje o położeniu prostokąta, jego rozmiarze oraz sposobie kodowania danych o pikselach. Sposoby kodowania aktualnie zdefiniowane to: Raw, CopyRect, RRE, Hextile oraz ZRLE. W praktyce stosowane są ZRLE, Hextile i CopyRect, ponieważ zapewniają najlepszy stosunek kompresji dla przeciętnego pulpitu. Szczegółowe opisy sposobów kodowania danych o pikselach są zawarte w specyfikacji protokołu RFB.

### 4.2. Serwer x11vnc

Serwer x11vnc jest jednym z wielu implementacji serwera VNC. Został wybrany z kilku powodów. Podstawowym atutem jest możliwość pracy z urządzeniami wideo, a nie bezpośrednio na buforze ekranu maszyny, na którym został uruchomiony. W szczególności ta



własność wyróżnia serwer x11vnc od innych implementacji serwerów VNC. Dodatkową zaletą jest możliwość przekazania sygnałów sterujących do dowolnej aplikacji. W klasycznym rozwiązaniu zdarzenia przyciśnięcia klawiszy pochodzące od klienta VNC trafiają do aplikacji serwera, a następnie do systemu, na którym serwer jest uruchomiony. W przypadku urządzenia do zdalnej administracji RSAD, zdarzenia te muszą trafiać do innej maszyny niż ta na której uruchomiono serwer VNC.

Wstępnie serwer x11vnc był testowany na klasycznym PC. Okazało się, że opisana przez twórców możliwość przechwytywania obrazu z urządzeń video nie jest w pełni funkcjonalna. Wspiera ona jedynie urządzenia pracujące w standardzie Video4Linux w wersji 1. Aktualnie stosowana wersja 2 nie jest w pełni kompatybilna ze swoim poprzednikiem. Z tego powodu wynikły problemy z użyciem karty video EasyCap. Kod serwera x11vnc jest publicznie dostępny więc należało zmodyfikować źródła tak, by działały z urządzeniami video w wersji V4L2.

Kod nie został napisany zgodnie ze standardami. Występuje wiele zmiennych globalnych oraz niewiele komentarzy. Utrudniło to wprowadzenie niezbędnych zmian. Pierwsza modyfikacja dotyczyła dodania możliwości zmiany parametrów obrazu. Konieczne było wywołanie kilku funkcji ioctl(), które odpowiadały za zmianę parametrów. Kolejne zmiany dotyczyły sposobu odczytu danych. W oryginalnym kodzie twórcy wykorzystali funkcję read() w celu pobrania obrazu z urządzenia. Niestety sterownik urządzenia EasyCap nie wspierał trybu IO\_METHOD\_READ, co nie było sprawdzane przez program. Sterownik mógł pracować w trybie IO\_METHOD\_MMAP więc niezbędnym było zastosowanie funkcji mmap(). Modyfikacje dotyczyły dodatkowo pliku screen.c, w którym dodano żądanie udostępnienia buforu [3].

Kiedy okazało się, że po tych modyfikacjach program działa, należało skompilować go dla procesora dostępnego w routerze. Wykonano konfigurację przez wywołanie skryptu ./configure dodając odpowiednie argumenty:

```
CC=/home/user/backfire/staging_dir/toolchain-mips_r2_gcc-4.3.3+cs_uClibc-0.9.30.1/usr/bin/mips-openwrt-linux-gcc ./configure --host=mips --without-avahi --without-x --without-macosx-native --without-uinput --without-fbdev --without-dpms --without-fbpm --without-xkeyboard --without-xinerama --without-xrandr --without-xfixes --without-xdamage --without-xtrap --without-xrecord --with-zlib=/home/user/backfire/staging_dir/target-mips_r2_uClibc-0.9.30.1/usr
```

Pierwszy element określa kompilator. Następnie dodano opcje wyłączające zbędne funkcjonalności serwera, dzięki czemu zmniejszono rozmiar pliku wykonywalnego. Po tak przeprowadzonej konfiguracji można było uruchomić kompilację:

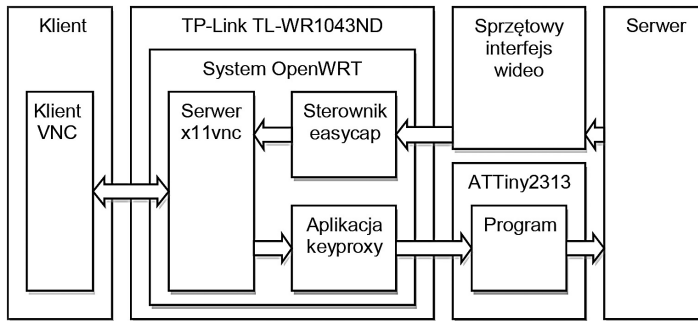
```
make
```

Po przeniesieniu programu na router należało go uruchomić podając odpowiednie parametry. Najważniejszym krokiem było wybranie źródła obrazu. W tym wypadku jest to urządzenie /dev/video0, a następnie należało odpowiednio sparametryzować to urządzenie, ustalając rozdzielczość, odpowiednie wejście sygnału czy format kolorów. Ostatnim argumentem jest żądanie przekazania sygnałów sterujących do własnej aplikacji, odpowiedzialnej za wysyłanie odpowiednich kodów klawiszy na port COM [6].

```
./x11vnc -rawfb video:w=720,h=576,bpp=32,inp=5@720x576x32:ff000000/ff0000/ff00 -many -shared -pipeinput `./keyproxy /dev/ttyUSB0 19200`
```

### 4.3. Klient

Użytkownik komunikuje się z urządzeniem RSAD za pomocą aplikacji klienckiej. Dzięki zastosowaniu popularnego protokołu RFB istnieje możliwość skorzystania z wielu gotowych aplikacji. Wykorzystując urządzenie typu smartphone, na które powstało wiele klientów VNC, dostęp do zdalnej maszyny można mieć w każdym miejscu i czasie. W celu ułatwienia połączenia, można skorzystać z apletu JAVA, który automatycznie zostanie uruchomiony po wywołaniu w przeglądarce adresu urządzenia. Takie rozwiązanie jest stosowane przez producentów komercyjnych produktów, przez co nie wymusza na użytkownikach instalowania dodatkowych aplikacji.



Rys. 5. Schemat przepływu danych pomiędzy aplikacjami

Fig. 5. Scheme of data flow between applications

## 5. Możliwości rozbudowy

Biorąc pod uwagę rozbudowę zaprezentowanego rozwiązania, można by pomyśleć nad dodaniem możliwości sterowania myszą. Dodatkowa możliwość sterowania dostępem do zasilania pozwoliłaby na natychmiastowe odłączenie maszyny. Z uwagi, iż forma przechwytywania obrazu nie pozwala na osiągnięcie większych rozdzielczości, można byłoby zbudować interfejs obrazu, bazujący bezpośrednio na porcie VGA bez konwertowania do formatu S-Video. Pożyteczną funkcjonalnością może okazać się opcja przesyłania danych przez port USB do zdalnej maszyny. Wykorzystując możliwość uruchomienia dowolnej aplikacji na systemie OpenWRT, można wykorzystać urządzenie RSAD do dodatkowych celów, np. takich jak alarmowanie drogą mailową czy SMS o ewentualnej awarii serwera. Instalując prosty serwer WWW, możemy mieć wgląd na warunki panujące w serwerowni, np. temperatura i wilgotność.

## 6. Wnioski

Urządzenie posiada podstawową funkcjonalność komercyjnych produktów. Jednocześnie koszt budowy jest około pięciokrotnie mniejszy od ceny tychże produktów. Atutem urządzenia RSAD jest również możliwość dodatkowego wykorzystania centralnej jednost-

ki, którą stanowi router. Dzięki zastosowaniu przy budowie urządzenia modułów, takich jak karta wideo na USB, koncentrator USB czy konwerter VGA – Video, znacznie ułatwiono proces projektowania urządzenia. Może ono posłużyć jako prototyp do budowy komercyjnego odpowiednika. Urządzenie ostateczne składałoby się z układów elektronicznych poszczególnych modułów, przez co koszt budowy byłby dodatkowo niższy. W porównaniu z urządzeniami tego typu istniejącymi na rynku zaproponowane rozwiązanie nie posiada funkcji sterowania myszą. Jednak istnieje możliwość rozbudowy urządzenia RSAD przez wykorzystanie wolnych portów koncentratora USB.

Zastosowane w projekcie aplikacje wymagały modyfikacji z uwagi na fakt, iż zostały zaprojektowane do pracy na sprzęcie o znacząco większych możliwościach niż docelowy router. Ze względu na różnice w architekturach kompilacja wymagała zastosowania odmiennych narzędzi niż aplikacja przeznaczona na klasyczną maszynę typu desktop.

*Artykuł zgłoszony do publikacji w roku 2010.*

## Literatura

- [1] Metzger P., Jełowicki A., *Anatomia PC*, Wyd. IV, Helion, Gliwice 1998.
- [2] Hadam P., *Projektowanie systemów mikroprocesorowych*, Wydawnictwo BTC, Warszawa 2004.
- [3] *Video for Linux Two API Specification* (<http://v4l2spec.bytesex.org>).
- [4] *OpenWrt non-standard module compiling* (<http://www.farlock.org/nslu2/openwrt-non-standard-module-compiling>).
- [5] *OpenWrt Wiki Documetation* (<http://wiki.openwrt.org>).
- [6] *x11vnc Documentation* (<http://www.karlrunde.com/x11vnc>).
- [7] *The PS/2 Protocol* (<http://www.computer-engineering.org/ps2protocol>).



PIOTR ZABAWA, PAULINA KLĘK\*

## BUSINESS RULES-DRIVEN SEMI-AUTOMATIC PROJECT EFFORT ESTIMATION

---

### PÓŁAUTOMATYCZNE ESTYMOWANIE PRACOCHOŃNOŚCI PROJEKTÓW STEROWANE REGULAMI BIZNESOWYMI

#### Abstract

A new approach to project effort estimation is presented in this paper. It is related to Delphi method of estimation by experts. It also makes use of the business processes and business rules related to the newest OMG standards. A software tool implemented to verify the concept correctness is described.

*Keywords: project effort estimation, project cost estimation, Delphi, expert, ruleflow, business rule, business process, domain model*

#### Streszczenie

W artykule przedstawiono nowe podejście do estymowania pracochłonności projektów. Z jednej strony nawiązuje ono do metody Delphi estymowania przez niezależnych od siebie nawzajem ekspertów, a z drugiej strony, w ramach najnowszych standardów OMG, wykorzystuje procesy biznesowe oraz reguły biznesowe. Opisano również opracowane narzędzie stanowiące weryfikację poprawności koncepcji.

*Słowa kluczowe: estymacja pracochłonności projektu, estymacja kosztu projektu, metoda Delphi, ekspert, przepływ reguł, reguła biznesowa, proces biznesowy, model dziedzinowy*

---

\* Dr. Eng. Piotr Zabawa, IBM/Rational Certified Consultant, Institute of Computer Science, MSc. Eng. Paulina Klęk, graduate of Computer Science and graduate of Mathematics, Faculty of Physics, Mathematics and Computer Science, Cracow University of Technology.

## 1. Bibliographical review

The approach presented in this paper is new, and it refers to OMG standards introduced in 2011 and applies the newest information technologies. That is why there is no literature directly connected to the presented problem, except [22]. And that is also why the discussion of publications connected to project effort estimation problems and usage of experts' knowledge are contained in a separate section dedicated to presentation just the literature background playing the role of introduction into problems presented further.

The problem of project effort estimation is the subject of investigations from more than 40 years. Many different approaches were described in thousands of papers and new approaches are still and continuously invented, also in the last years. All mentioned approaches can be classified generally, according to the proposal presented in [18], into two categories: formal methods or expert evaluation methods. The comparison of both approaches treated as separated can be found in the cited paper. These approaches are even presented as two extremes. However in practice the solutions located somewhere between seem to be much better. That is why in our paper the presented approach joins advantages of both two kinds of approaches standing between the ones described in [18].

Many different approaches for effort estimation of project from different business domains were used, as it was already mentioned above. This diversity results from the fact that both formal methods and methods based on experts' knowledge were used for project effort estimation.

The huge amount of formal methods was described starting from the well known in IT community COCOMO/COCOMO II [6], through function points [27, 9], story points [10] and object-oriented function points [17]. to use-case points [2] together with further modifications of the last one [26]. More universal approaches are also known, which are used in many business branches, like artificial intelligence systems the solutions based on expert systems [13] or neural networks [14] can be counted, statistical methods [28], morphological methods [3,4], fuzzy logic [1, 25], newest approaches resulting from complex systems theory, like for example grey system theory [30].

There are also known methods from the second extreme described in [18], that is methods based on experts' knowledge used for project effort estimation. They were recognized by the authors of [18] as the ones working much better in practice than formal methods. In this thread of publications the way of fighting with some specific problems can be observed, like for example estimation of reliability of experts' evaluations [34], gathering knowledge from distributed experts [11], as well as elaborations focused on sociological aspects in experts' knowledge construction [7] and exploring commonly known social techniques like voting [24]. The important problem of choosing right estimation strategy to be followed by experts is also described, for example in [20] as well as making usually under evaluated estimates more trustworthy and realistic [19]. One of the most important from the perspective of presented paper methods from this thread is the one of much more general spectrum of applications [15] than just the effort estimation - Delphi method. The specific problem for this method is the necessity of experts' opinions negotiation [12].

Wider spectrum of different approaches to project effort estimation can be found in overview publications [21, 5, 35, 29] or in the ones discussing different approaches in wider context, like [23].

Huge, mentioned above, diversity of approaches which are used for project effort estimation led to chaos in notions and terminology. The proposal of coherent nomenclature was submitted in [16]. In our publication the terminology proposed in [16] is used to avoid misunderstanding.

In our publication the approach joining experts' knowledge optionally supported by any formal method with Delphi technique is proposed. This is not a completely new concept as in [32] the discussion of such combination can be found, however not applied to project effort estimation. The approach presented in [32] is also far from our approach. A little bit similar subject is discussed in [9], however the subject is limited there to project cost calculation based on function points method, so it is not so general. The consequence of such limitation in paper [9] is that estimation is limited in consequence to systems specified by functional requirements only which is characteristic for IT and electronics projects. Even in these disciplines the functional description is only one aspect that impacts the whole project effort, thus is not complete enough. Moreover the notion of rules is addressed to expert system rules and not to business rules, which in consequence means that the approach [9] does not refer to a domain model. In contrast, our concept makes use of business process model referring to business entity model playing the role of our meta-model. Another quite similar approach exploring meta-model can be found in [31], however that meta-model is not addressed to estimation but to iteration planning and release planning for software projects in iterative processes. Moreover it is worth of notice that prior to planning the appropriate effort estimation must be done in advance as a source information for planning.

It is worth mentioning at the end that the approach presented in our paper is not functioning in isolation from other problems of projects conduction, not only software projects. Presented solution makes possible to join its results, effort estimates, to the further project tasks planning, for example, in the form presented in [36] or [33]. Also the conformance between actual project realization and prior estimates can be investigated like it was presented in [17].

## **2. Project estimation role**

There is always a risk connected with any kind of project. It exists during the whole project lifecycle. It appears for the first time on the stage of trying to obtain a contract by potential project executors. They have to estimate the total cost of project realization to be able to propose the competitive price to win the contact and price high enough not to lose money while its realization and in consequence not to lose the customer. Such estimation is needed to fit in a budget and time proposed. Otherwise the customer may be disappointed. Another consequence of project complexity calculation may be direct loss of quality of the final product or very probable the decrease of product quality caused by savings got through lowering quality of the process.

Initial project effort estimation are very unprecise due to limited information. In consequence they must be continuously updated according to the growing amount of information during project realization. This is one of the important reasons forcing the necessity of recurring project effort estimations.

Moreover, during realization of the project some unexpected circumstances may appear impacting positively or negatively to the project realization process – we talk about positive or negative risks. In order to be able to react correctly to each of materialized risks they must be

monitored. When the risk materialization will be recognized it requires some reaction, usually planned in advance. Some kinds of risks can influence positively or negatively on project effort. In order to understand how a particular risk can influence the project effort and what is current project status the project effort should be re-estimated. The process of risk monitoring is and estimation triggering is continuous. This is another important source of estimating need.

Human and non-human resources should be planned in such a way that the project cost is at an assumed level. The project resource planning is however influenced by all factors presented above. As the consequence it requires continuous re-estimations as the factors appear or change also continuously. We can plan resources only if we know current project estimates. This is another important reason for performing estimation frequently.

The next reason for estimating project effort is connected to the project finalization - the necessity of closing the contract and keeping assumed time and possibly minimizing costs of breaking deadlines. Project estimation is again the best way not to fail at the end of project as it helps to plan all final tasks precisely.

### **3. Manual estimation problems**

The idealistic situation was presented in the previous section. The characteristic feature of it is that all project risks are monitored and appropriate action are taken to minimize impact of materialized risks. The relationship between risk management and the need of continuous project effort estimation was also presented. It is worth noticing here that there is however some kind of danger connected to the pressing to much stress to the risk management in a project. Paradoxically, the very careful risk management may lead to not appreciation of it due to the kind of sense of comfort among all project team members as they realize that the risk is under full control [20]. Thus both underestimating as well as overrating the project risk management may introduce unexpected additional project risks.

Nevertheless, in practice continuous estimation is not applied. There are important reasons for that connected mainly to human factor.

One of such barriers leading to minimization of estimation activities in project is the need of scarifying time of usually several project members for executing the same activity in parallel, which is just estimation process. And that is why the project cost grows this way. At the same time estimators are taken in unpredictable moments from their carefully planned usual tasks to estimation activities. It disturbs the project. Estimation sessions introduce additional costs and influence the project schedule. That is why they are limited by project managers.

Reluctance among project members to participation in estimation is another factor limiting frequency of estimations. Project risks may appear frequently, which may force people to perform many estimations. It can be exhausting and boring for project members.

Both effects mentioned above help to minimize costs but at the same time make project risk management limited and thus lead to project risk growth. It means that resignation of continuous estimating introduces itself an additional project risk that should be also somehow managed.

One of important difficulties observed even in large companies or corporations is working day-by day in many projects is the lack of proper software tools making estimation process more convenient and easier. A spreadsheet program is the most frequently met tool for estimations. This solution is however usually a very inconvenient tool making estimation



process hard. The most difficult aspect of this style of work is manual, laborious, time consuming and error prone analysis process of all data coming from estimation participants – such a process is described in the next section. It results in discouragement to frequent estimations introducing also a risk connected to lower reliability of estimation process results.

Due to the large amount of unordered data that look very chaotic it is difficult to understand and recognize the total effort, distinguish between all estimation subjects and understand relationships among them. This is even harder to solve all important inconsistencies between estimation subjects' estimates as these inconsistencies are invisible in such information noise. This kind of difficulty leads in turn to increase of acceptable deviation level of estimates. In consequence it may lead to estimation analysis process shortage and oversimplification. In effect many important estimation subjects may remain unidentified. And, going further, the total estimation error may occur to be much higher than it results from increased deviation level. The tasks that remain unidentified cannot be planned in future in the right moment.

Our publication shows how to limit all negative effects presented above influencing the estimations frequency and the quality of estimation process. The right way to do that is the partial automation of the estimation process especially in the most critical aspects. Our proposal is also designed to support well known and widely accepted good estimation practices.

#### **4. Manual estimation process characteristics**

All problems presented above are universal as they are characteristic for all kinds of projects, not only for IT projects. However, in this chapter the project effort estimation process specific for IT projects is presented. This restriction is introduced as we believe that this is a good idea to refer to the branch we know best.

One of well functioning approaches is conjunction of Delphi method based on independent experts' knowledge with formal estimation methods like for example COCOMO/COCOMO II, function points, use-case points, comparative study for historical similar projects. Each of these techniques should be chosen according to the specific situation and the choice may depend on knowledge and experience of estimation participants. It is also a good practice in this domain to choose more than one, but still fitting well to the situation, formal methods for one estimation in order to improve reliability of the results.

Such a process has several well known on the market good practices, like:

1. Specification of the estimation techniques before start of estimation.
2. Not suggesting any of the potential estimation subjects.
3. Building estimation team from people with different perspectives (knowledge, experience, skills, responsibilities in the project, business roles in the context of the project to be estimated,...).
4. Keeping rule of estimating project effort by each expert independently from the rest of expert – no information flow between experts.
5. Drafting one person who is not playing the role of an expert in this estimation to be estimation process manager.

The goal of introduction of such rules is to find the maximal set of estimation subjects (2,3,4), and at the same time to find such estimation subjects that could be compared (1) and analysed by a independent person which is interested in success of the estimation (5).

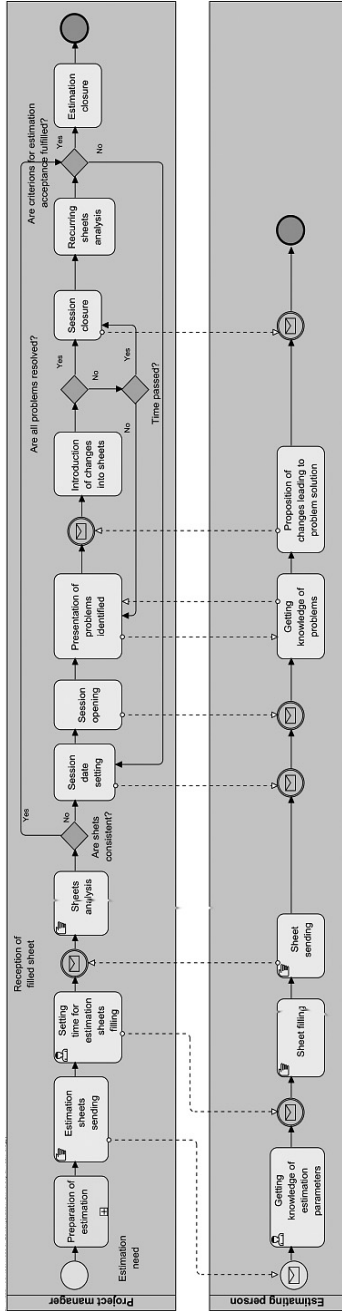


Fig. 1. Manual estimation "as-is" process model

Rys. 1. Model manualnego procesu estymowania „as-is”

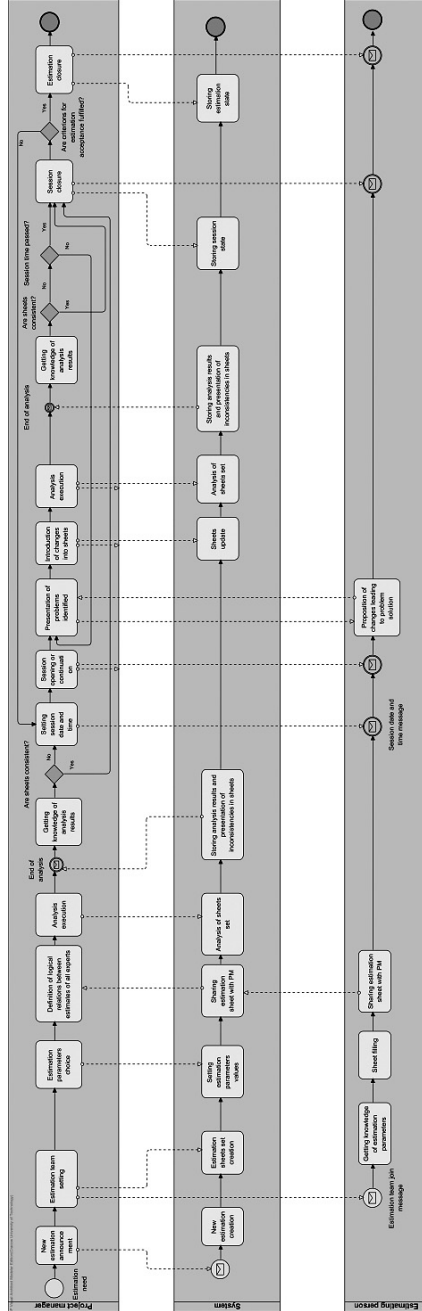


Fig. 2. Automated "to-be" process model

Rys. 2. Model procesu automatyzowanego „to-be”

It is worth noticing here that currently dominating software development processes on IT market are iterative and evolutionary in nature and especially unified processes. This is also the source of tendency of joining traditional formal estimation techniques like for example COCOMO/COCOMO II with iterative processes, like for example IBM/Rational Unified Process, which is visible in several publications, eg. in [8]. The necessity of frequent estimating results from the character of iterative processes. It is caused by the planning distribution in time – coarse-grained planning of the whole project and of each phase and detailed planning of each iteration. There is usually many iterations in larger projects and they are used for advantageous distribution of project risks in time – the way of risk minimization. This is an important factor in iterative software development processes involving the need of high estimation frequency. However the specific feature of this way of estimating is that the project is not estimated as a whole many times, but successive parts of project (its evolution steps) are estimated. It means that estimation subjects change in time. A different situation can be found in other business domain where waterfall projects work well. In these domains the estimation is focused on Work Bench Structure (WBS). In our publication such an approach is used that fits well to both approaches and in consequence to all business domains.

According to the best authors' knowledge there is no tool on market that could support estimation conduction led under the assumptions presented so far.

The traditional manual estimation process is presented in Figure 1 in form of standard OMG BPMN2 business process notation. This is an as-is process, automation of which is described in the next section in the form of to-be process with the software system, being the subject of this publication, represented in the form of a business worker.

Information presented in Figure 1, Figure 2 and Figure 3 is discussed below in subsequent subsections from the following perspectives: roles in the estimating process, activities in the process and business entities access rights.

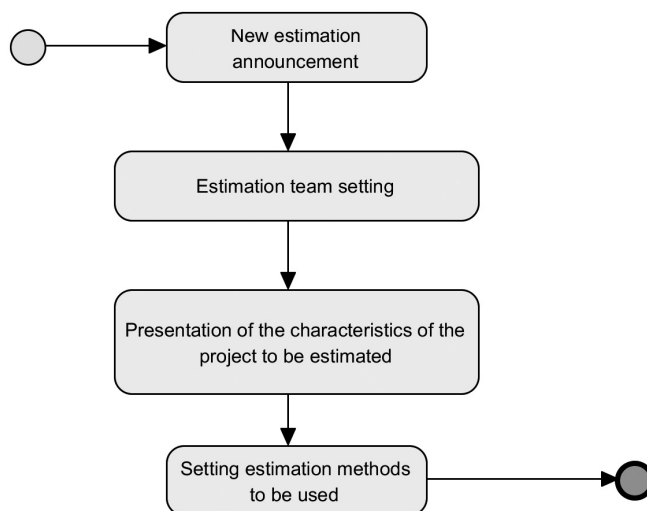


Fig. 3 „Estimation preparation” subprocess model”

Rys. 3. Model podprocesu „Estimation preparation”

#### 4.1. Manual estimation process characteristics

In as-is process presented in Figure 1 two roles are shown. The roles are characterized below on the background of two main estimation process stages.

##### “Estimation preparation” subprocess presented in Figure 3:

- *Project manager* (PM) – manages the project and it may be assumed that is responsible for estimation process flow and coordinates it. He/she establishes the team consisting of estimating people with different experience and different perspectives, informs all of them about introductory assumptions, gives access to project documentation and asks each of them to fill estimation sheets. His/her goal is to get project cost estimates in the form of person/day unit.
- *Estimating people* (Experts) – they do not fill questionnaire but estimation sheets, in which all estimation subjects must be identified and filled-in by them. Subjects are not proposed in advance in any form to get experts enough space of freedom. For each estimation subject an estimating person must suggest an optimistic, a realistic and a pessimistic estimation value.

##### The rest of “as-is” process presented in Figure 1:

- *Project manager* – collects estimation sheets and performs manual analysis. It consists in summarization of estimation subjects and comparison of them. First the probable estimation value should be calculated for each estimation subject. It can be calculated for example from the following equation:

$$P_r = (a*O + b*R + c*P) / (a + b + c)$$

where:

$P_r$  – probable estimate value

$a, b, c$  – predefined weight coefficients

$O$  – optimistic estimate value

$R$  – realistic estimate value

$P$  – pessimistic estimate value

The next step is calculation of summarized optimistic, realistic, pessimistic and probable estimation values for each estimation sheet. The arithmetic average value of probable estimate values is then calculated for all sheets. Having all values calculated PM compares them looking for potentially inter-related estimation subjects. If the subjects seem to be similar and estimation values for them are too different, then confrontation of experts is required and recalculation of estimates by these experts.

- **Estimating people** – together with PM take part in estimation session the goal of which is explanation of the character and reasons of inconsistencies recognized during former PM analysis. After session closure the experts involved into inconsistencies introduce changes to their estimates and possibly restructure their former set of estimation subjects or PM does the same during session.
- **Project manager** – decides if the estimating process may be closed on this stage or if the estimation session must be repeated in order to eliminate remaining inconsistencies. This decision should be made on the basis of estimation quality criteria accepted by an organization or by the project team.

#### 4.2. Estimation process activities perspective

The following five stages can be find in the process shown in Figure 1:

- **Estimation preparation** – includes estimation team roles construction, definition of general assumptions and characteristics of system to be estimated. On this stage PM does not communicate with experts.
- **Session preparation** – includes distribution of empty estimation sheets between experts with information about deadline of filling them. On this stage experts do not communicate. After sending filled sheets to PM he/she performs the analysis.
- **Session conduction** – this is meeting of session coordinator (usually just PM) with all experts. The discussion is focused on identified inconsistencies. PM successively introduces changes to sheets and if possible he/she checks if the new decisions solve the inconsistency problem not introducing the new one.
- **Session closure** – recurring sheets analysis by PM. He/she must analyse many estimation sheets step-by-step (for example in the form of Excel worksheets) and diagnose inconsistencies. Additionally while making estimation subjects more detailed, which is natural consequence of inconsistencies resolution, different experts may use different notions systems which makes such comparison more difficult.
- **Estimation closure** – on this stage PM must decide if the estimation result fulfills the closure criteria. If yes, then estimation can be closed. Otherwise the new session must be prepared and performed.

Such manual approach to the estimation process is very time consuming both for experts that have to take part in estimation session several times and for PM.

#### 4.3. Business entities access rights perspective

The business entities access rights result from the process presented above.

- **Project manager** – as a role managing the whole process has the most strong permissions. He/she creates and controls all required artifacts. He/she can add and remove estimation sheets, edit all sheets previously shared with him/her by experts, set all parameters used for verification of estimation results, diagnose relationships and inconsistencies between subjects estimated by different experts.
- **Estimating people** – should be able to view and edit all their estimation sheets, block and share them with PM. Additionally they cannot see any estimation sheet filled by other expert before the first estimation session.

### 5. Estimation process automation opportunities

Automation of the estimation process was achieved by introduction of the software system between the two business workers presented in the previous section. From now both business workers communicate via the software system. The new, automated process is presented in the to-be process diagram in Figure 2 in standard OMG BPMN2 notation. It is worth noticing the tasks taken by the software system.

It is clear that the software system supports PM from the very beginning. The system is used for preparation of estimation. The new virtual folder and new estimation sheets set each for separate estimation team member are created. All data needed for estimation analysis is introduced into the system. In place of sending estimation sheets via e-mails they are stored in a database and shared by each expert with PM. The analysis is performed by the system and PM is informed about the end of the analysis process. During estimation session the analysis process can be executed many times, giving PM the full control over continuously changing inconsistencies. The only problem is the limited time for a session and it may cause the need for organization of further sessions. It seems however that thanks to the software system the number of sessions may be reduced even to one per each estimation.

The domain model presented in Figure 4 is created on the basis of to-be process shown in Figure 2 and results from the analysis of business entities used to store the key data for that process and on the basis of previous divagations concerning rights to access some business entities.

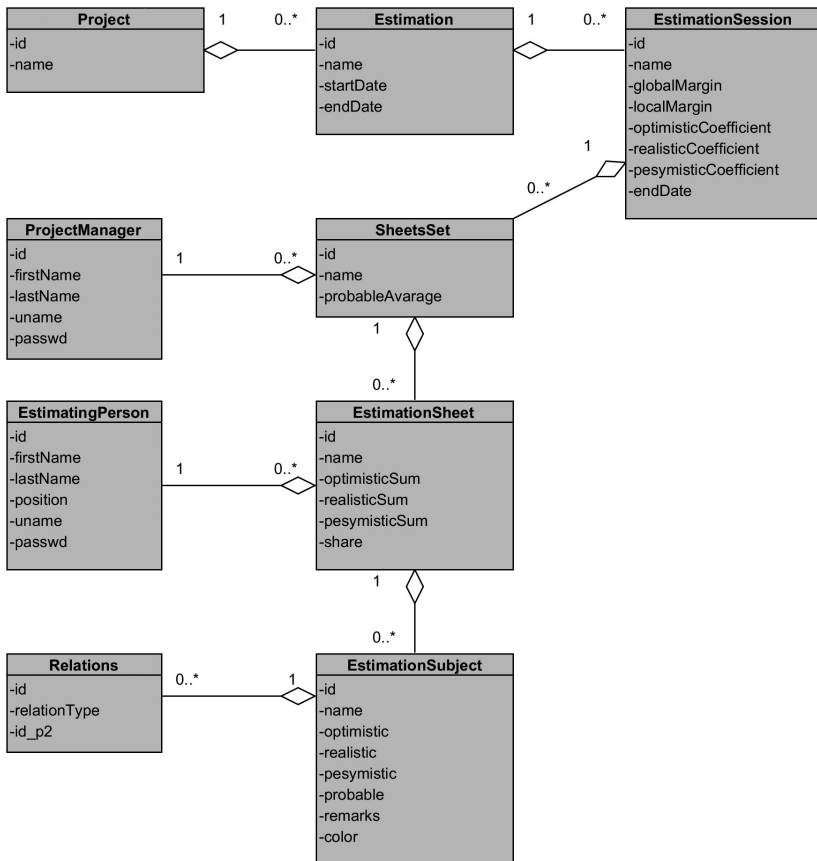


Fig. 4. Business domain model

Rys. 4. Dzia dzinowy model biznesowy

## 6. Business rules

First the ruleflow diagram (Fig. 5) resulting from “to-be” business process model (Fig. 2) is presented. Then the appropriate business rules associated to the ruleflow are shown. Both ruleflow and business rules are specified and implemented in JBoss Drools environment. The natural language is also used to specify the rules independently from this environment.

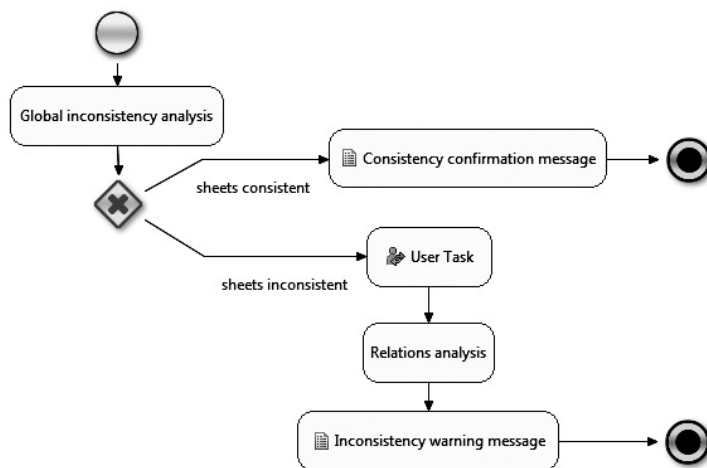


Fig. 5. Ruleflow specification in JBoss Drools

Rys. 5. Specyfikacja przepływu reguł w JBoss Drools

The first and the only rule associated to the “Global inconsistency analysis” rule-task makes possible to identify the estimation sheets for which the probable estimation value deviates too much from the average value calculated for all sheets in the set. The appropriate margin for this inconsistency is assumed.

### WHEN

*the sum of values of probable estimates is lower than the average value of probable estimates for all estimation sheets decreased by acceptable deviation value or the sum of values of probable estimates is greater than the average value of probable estimates for all estimation sheets increased by acceptable deviation value*

### THEN

*add the estimation sheet to the list.*

The Drools source code for this rule is presented in Listing 1.

### Listing 1

```

rule "sheets not satisfying the general restriction "
ruleflow-group 'group1'
dialect "mvel"
  
```

```

no-loop true
when
  $sheet: EstimationSheet ( probableSum < (setAvarage - globalMargin)
  || probableSum > (setAvarage + globalMargin))
then
  iSheetsList.add($sheet);
end

```

The next group of rules associated to the „Relations analysis” rule-task is focused on identification of all inconsistencies among estimation subjects effort estimations between inconsistent sheets identified by the previous rule and all remaining sheets. The analysis is performed for evaluation of exact deviation values for estimation subjects from inconsistent sheets. Unfortunately, the necessary condition for correct execution of the rules presented below is manual identification and definition of relationship between similar estimation subjects from different sheets which must be done in advance by PM. This relationship is equality or inclusion. Relations mentioned above may be complex and difficult to understand and manage without software support. The estimation subjects from inconsistent sheets will be compared with related estimation subjects from consistent sheets during analysis.

The rule presented below makes possible to compare two logically equal estimation subjects.

#### WHEN

*difference between probable estimation value of an estimation subject from the sheet not conformant to the sheets set average probable estimation value and the same estimation subject from the sheet conformant to the sheets set average probable estimation value is greater than the assumed inconsistency margin*

#### THEN

*set this difference as the deviation value for this estimation subject.*

The Drools source code for this rule is presented in Listing 2.

#### Listing 2

```

rule "estimation subjects - equal "
ruleflow-group 'group2'
salience 40
dialect "mvel"
when
  $sheet : EstimationSheet (probableSum < (setAvarage - globalMargin)
  || probableSum > (setAvarage + globalMargin))
  $p1 : EstimationSubject (eval(sheetID.id == $sheet.getId()) &&
($id1 : id))
  $r : Relations(eval(p1ID.id == $id1) && (relationType == 1) &&
($id2 : id_p2))
  $p2 : EstimationSubject (id == $id2)
  eval(Math.abs($p1.getProbable() - $p2.getProbable()) > localMargin)

```



```

then
  $d = $p1.getProbable () - $p2.getProbable () ;
  $p1.setColor("Deviation: "+$d);
  iEstimationSubjectUpdater.update($p1);
end

```

In case of inclusion of one or more estimation subjects from the analysed sheet in an estimation subject from other sheet the following rule will be used.

#### WHEN

*difference between sum of probable values for the inconsistent sheet and the probable value for the including estimation subject from the consistent sheet is greater than a predefined margin value*

#### THEN

*set the difference as the deviation value for all analysed estimation subjects from the inconsistent sheet.*

The Drools source code for this rule is presented in Listing 3.

#### Listing 3

```

rule "estimation subjects - is included"
ruleflow-group 'group2'
salience 30
dialect "mvel"
  when
    $sheet: EstimationSheet ( probableSum < (setAvarage - globalMargin)
    || probableSum > (setAvarage + globalMargin))
    $p1 : EstimationSubject(eval(sheetID.id == $sheet.getId()) &&
($id1 : id))
    $a : EstimationSheet( this != $sheet)
    $p2 : EstimationSubject(eval(sheetID.id == $a.getId()) && ($id2 : id))
    // subject p1 is included in other subject(s)
    $r : Relations(eval(p1ID.id == $id1) && (relationType == 2) &&
(id_p2 == $id2))
    $sum : Double( )
    from accumulate(EstimationSubject((this == $p1) && ($value : prob-
able)), sum($value) )
    eval( Math.abs( $p2.getProbable() - $sum ) > localMargin)
  then
    $d = $p2.getProbable() - $sum;
    $p1.setColor("Deviation: "+$d);
    iEstimationSubjectUpdater.update($p1);
  end

```

Otherwise, if the analysed estimation subject includes one or more estimation subjects from other sheet, the following rule can be applied.

**WHEN**

*difference between probable value for the inconsistent sheet and the sum of probable values for the included estimation subjects from the consistent sheet is greater than a predefined margin value*

**THEN**

*set the difference as the deviation value for the analysed estimation subject.*

The Drools source code for this rule is presented in Listing 4.

**Listing 4**

```
rule "estimation subjects - includes"
ruleflow-group 'group2'
salience 20
dialect "mvel"
no-loop true
when
    $sheet: EstimationSheet( probableSum < (setAvarage - globalMargin)
    || probableSum > (setAvarage + globalMargin))
    $p1 : EstimationSubject( eval(sheetID.id == $sheet.getId()) && ($id1
: id) )
    $a : EstimationSheet( this != $sheet)
    $p2 : EstimationSubject( eval(sheetID.id == $a.getId()) && ($id2 : id) )
    // subject p1 includes other subject(s)
    $r : Relations( eval(p1ID.id == $id2) && (relationType == 2) &&
(id_p2== $id1) )
    $sum : Double( )
    from accumulate( EstimationSubject( eval(id == $id2) && ($value :
probable)), sum($value) )
    eval( Math.abs( $p1.getProbable() - $sum ) > localMargin)
then
    $d = $p1.getProbable () - $sum;
    $p1.setColor("Deviation: "+$d);
    iEstimationSubjectUpdater.update($p2);
end
```

Four rules presented above make possible to find automatically all inconsistencies between experts' estimation sheets making the analysis process significantly faster and less error prone.

There is also one more rule introduced in order to find and visually mark all estimation subjects that are not involved into any logical relation with subjects from other sheets.

**WHEN**

*there exists a relation for the estimation subject from the inconsistent sheet*

**THEN**

*do not set the deviation value and mark this estimation subject as a consistent one.*

The Drools source code for this rule is presented in Listing 5.

### Listing 5

```
rule "estimation subjects - relationship existence "
ruleflow-group 'group2'
salience 50
dialect "mvel"
no-loop true
when
    $sheet: EstimationSheet ( probableSum < (setAvarage - globalMargin)
    || probableSum > (setAvarage + globalMargin))
    $r : Relations(($id1 : p1ID.id) && ($id2 : id_p2))
    $p1 : EstimationSubject(eval(sheetID.id == $sheet.getId()) &&
    (eval(id == $id1)|| eval(id == $id2)))
then
    $p1.setColor("OK");
    iEstimationSubjectUpdater.update($p1);
end
```

A dedicated software tool was implemented on the basis of the ruleflow presented in Figure 5 and on the basis of all business rules shown on Listings 1 to Listing 5. This tool automates the analysis of estimation data submitted by many estimation participants.

## 7. Estimation Manager tool

The software that constitutes an implementation of the concept presented above is a prototype. That is why it has the form of a desktop application. The set of technologies used for the implementation is presented below.

- JBoss Drools –drools-5.0.0.M5-bin library
- MySQL Server – version 5.1
- Hibernate for ORM
- Java SE JDK
- Swing for GUI implementation

Eclipse 3.6 (Helios) with Visual Editor PlugIn for Swing library were used as a development environment.

Beside elaboration of the whole concept and business rules the design of user interface was a significant implementation difficulty. The specifics of GUI problems was as follows:

- necessity of support for management and ordering of potentially large amount of interconnected pieces of information
- and
- necessity of definition of relations between any estimation subject.

Two screenshots one per each role are presented in Figure 6 and Figure 7 to illustrate the way of the solution of the first problem mentioned above.

Sheet name	Estimator	Project / Estimation / Session / Set
Adamski_Piotr 2012-03-02 14:30:01	Piotr Adamski - senior developer JAVA	Euro 2012 / Estimation / Session 2012-03-02 / Sheets set one
Malecki_Wiktor 2012-03-02 14:30:01	Wiktor Malecki - developer PL/SQL	Euro 2012 / Estimation / Session 2012-03-02 / Sheets set one
Wilkowska_Mariola 2012-03-02 14:30:02	Mariola Wilkowska - developer JAVA	Euro 2012 / Estimation / Session 2012-03-02 / Sheets set one

Fig. 6. Presentation of estimation sheets available for project manager (PM)

Rys. 6. Widok arkuszy estymacyjnych dostępny dla project managera (PM)

Name	Optimistic	Realistic	Pessimistic	Probable	Comments	Analysis
Database model	3	5	7	5.0		Lack of analysis
Non-functional requirements specification	2	3	8	3.666666666666667		Lack of analysis
Administrator GUI	6	10	11	9.5		Lack of analysis

Fig. 7. Presentation of estimation sheet available for estimating person (expert)

Rys. 7. Widok arkuszy estymacyjnych dostępny dla osoby estymującej (experta)

Select set: Euro 2012 / Estimation / Session 2012-03-02 / Sheets set one

Sheet name: Adamski\_Piotr 2012-03-02 14:30:01      Sheet name: Malecki\_Wiktor 2012-03-02 14:30:01

Database model  
Non-functional requirements specification  
Administrator GUI

GUI implementation  
Non-functional requirements specification  
Functional requirements specification  
Database model

Clean      OK

Name	Probable	Relation	Name	Probable	Sheet
GUI implementation	9.5	->	Administrator GUI	9.5	Adamski_Piotr 2012-03-02 14:30:01

Fig. 8. Presentation of relations between estimation subjects available for PM

Rys. 8. Widok relacji pomiędzy przedmiotami estymacji dostępny dla PM'a

Name	Optimistic	Realistic	Pessimistic	Probable	Comments	Analysis
GUI implementation	6	10	11	9.5		OK
Non-functional requirements specification	1	2	3	2.0		Uncompared
Functional requirements specification	1	2	3	2.0		Uncompared
Database model	3	5	6	4.83333333333333		Deviation: -10.8855555555556

Fig. 9. Presentation of analysis results available for project manager (PM)

Rys. 9. Widok wyników analizy dostępny dla project managera (PM'a)

The second problem mentioned above is the key view for correct definition of relations between estimation subjects. The appropriate screenshot is shown in Figure 8.

For efficient analysis of estimation sheets as well as conduction of estimation session the clear view to the results of the analysis for the PM is required. The appropriate screenshot is shown in Figure 9.

The approach presented in this paper constitutes the first but prospective attempt to automation of any kind of project effort estimation. It also gives a chance to extend this concept in several directions:

- separation of data layer from business rules
- introduction of web services for separation of presentation layer technology from business logic layer
- implementation of the tool in the form of web application
- enrichment of the domain model with task hierarchy and extension of business logic layer by extra functionalities - addition of new business rules group
- enrichment of the domain model with association of estimation distance measures with already existing relations
- enrichment of the domain model with estimation sets due to possible application of at least two different estimation methods at the time, which is a good practice
- introduction of estimation sheets versioning functionality
- elaboration of a concept of application of a domain-specific language for simplification of day-by-day work on business rules executed by estimating people

The approach presented here is not free from some limitations of business nature, of course. One of them is the requirement of having access to a special room with computers available for all estimation team members. This requirement is not a necessary condition for applicability of this solution but makes the estimation process more efficient. In the current version of the solution it is assumed that a project manager edits all the sheets during estimation session. However, it should be done by the participants in their estimation sheets. In such a case the system should perform analysis of the continuously changing estimates on the fly and present the results to the whole audience. This way the resolution of inconsistencies during estimation session would be the most effective.

## Literature

- [1] Ahmed M.A., Saliub M.O., AlGhamdi J., *Adaptive fuzzy logic-based framework for software development effort prediction*, Information and Software Technology 47, 2005, 31-48.
- [2] Anda B., Dreiem H., Sjøberg D.I.K., Jørgensen M., *Estimating software development effort based on use cases – experiences from industry*, in: 4th. Conf. on the UML, LNCS, Springer, 2001, 487-502.
- [3] Araújo R.A., Oliveira A.L.I., Soares S., *A shift-invariant morphological system for software development cost estimation*, Expert Systems with Applications 38, 2011, 4162-4168.
- [4] Araújo R.A., Oliveira A.L.I., Soares S., *Hybrid morphological methodology for software development cost estimation*, Expert Systems with Applications 39, 2012, 6129-6139.
- [5] Berlin S., Raz T., Glezer Ch., Zviran M., *Comparison of estimation methods of cost and duration in IT projects*, Information and Software Technology 51, 2009, 738-748.
- [6] Boehm B. at al., *Software Cost Estimation with Cocomo II*, Prentice Hall, 2000.
- [7] Børte K., Ludvigsen S.R., Mørch A.I., *The role of social interaction in software effort estimation: Unpacking the “magic step” between reasoning and decision-making*, Information and Software Technology xxx (2012) xxx–xxx (in press).
- [8] Brown A.W., Boehm B., *Software cost estimation in the incremental commitment model*, Systems Research Forum Vol. 4, No. 1, 2010, 45–55.
- [9] Choi S., Park S., Sugumaran V., *A rule-based approach for estimating software development cost using function point and goal and scenario based requirements*, Expert Systems with Applications 39, 2012, 406–418
- [10] Cohn M., *Agile Estimating and Planning*, Prentice Hall, NJ, USA, 2005.
- [11] Dalal S., Khodyakov D., Srinivasan R., Straus S., Adams J., *ExpertLens: A system for eliciting opinions from a large pool of non-located experts with diverse knowledge*, Technological Forecasting & Social Change 78, 2011, 1426-1444.
- [12] Di Zio S., Pacinelli A., *Opinion convergence in location: A spatial version of the Delphi method*, Technological Forecasting & Social Change 78, 2011, 1565-1578.
- [13] Ding Sh., Yang Sh.-Lin, Fu Ch., *A novel evidential reasoning based method for software trustworthiness, evaluation under the uncertain and unreliable environment*, Expert Systems with Applications 39, 2012, 2700-2709.
- [14] El-Sebakhy E.A., *Functional networks as a novel data mining paradigm in forecasting software development efforts*, Expert Systems with Applications 38, 2011, 2187-2194.
- [15] Goluchowicz K., Blind K., *Identification of future fields of standardisation: An explorative application of the Delphi methodology*, Technological Forecasting & Social Change 78, 2011, 1526-1541.
- [16] Grimstad St., Jørgensen M., Moløkken-Østvold K., *Information and Software Technology* 48, 2006, 302-310.
- [17] Heričko M., Živkovič A., *The size and effort estimates in iterative development*, Information and Software Technology 50, 2008, 772-781.

- [18] Jørgensen M., Boehm B., *Software Development Effort Estimation: Formal Models or Expert Judgment?*, IEEE Software, march/april 2009, 14-19.
- [19] Jørgensen M., *Contrasting ideal and realistic conditions as a means to improve judgment-based software development effort estimation*, Information and Software Technology 53, 2011, 1382-1390.
- [20] Jørgensen M., *Selection of strategies in judgment-based effort estimation*, The Journal of Systems and Software 83, 2010, 1039-1050.
- [21] Jørgensen M., Shepperd M., *A systematic review of software development cost estimation studies*, IEEE Transactions on Software Engineering 33 (1) 2007, 35-53.
- [22] Klęk P., *Estymacja projektów informatycznych z wykorzystaniem silnika reguł biznesowych, praca magisterska*, Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki Politechniki Krakowskiej, marzec 2012.
- [23] Koch St., *Effort modeling and programmer participation in open source software projects*, Information Economics and Policy 20, 2008, 345-355.
- [24] Koch St., Mitlöhner J., *Software project effort estimation with voting rules*, Decision Support Systems 46, 2009, 895-901.
- [25] Muzaffar Z., Ahmed M.A., *Software development effort prediction: A study on the factors impacting the accuracy of fuzzy logic systems*, Information and Software Technology 52, 2010, 92-109.
- [26] Ochodek M., Nawrocki J., Kwarciak K., *Simplifying effort estimation based on Use Case Points*, Information and Software Technology 53, 2011, 200-213.
- [27] Palmer S.R., Felsing M., *A Practical Guide to Feature-Driven Development*, Pearson Education, 2001.
- [28] Pendharkar P.C., *Probabilistic estimation of software size and effort*, Expert Systems with Applications 37, 2010, 4435-4440.
- [29] Petersen K., *Measuring and predicting software productivity: A systematic map and review*, Information and Software Technology 53, 2011, 317-343.
- [30] Song Q., Shepperd M., *Predicting software project effort: A grey relational analysis based method*, Expert Systems with Applications 38, 2011, 7302-7316.
- [31] Szöke Á., *Conceptual scheduling model and optimized release scheduling for agile environments*, Information and Software Technology 53, 2011, 574-591.
- [32] Tavana M., Pirdashti M., Kennedy D.T., Belaud J.-P., Behzadian M., *A hybrid Delphi-SWOT paradigm for oil and gas pipeline strategic planning in Caspian Sea basin*, Energy Policy 40, 2012, 345-360.
- [33] Verner J.M., Evanco W.M., Cerpa N., *State of the practice: An exploratory analysis of schedule estimation and software project success prediction*, Information and Software Technology 49, 2007, 181-193.
- [34] Wang X., Gao Zh., Guo H., *Uncertain hypothesis testing for two experts' empirical data*, Mathematical and Computer Modelling 55, 2012, 1478-1482.
- [35] Wena J., Li Sh., Lin Zh., Huc Y., Huang Ch., *Systematic literature review of machine learning based software development effort estimation models*, Information and Software Technology 54, 2012, 41-59.
- [36] Yannibelli V., Amandi A., *A knowledge-based evolutionary assistant to software development project scheduling*, Expert Systems with Applications 38, 2011, 8403-8413.





JERZY M. ZACZEK\*

EWOLUCJA ZAGROŻEŃ SIECIOWYCH  
MOTOREM EWOLUCJI SIECIOWYCH  
SYSTEMÓW BEZPIECZEŃSTWANETWORK SECURITY IMPROVEMENT  
DRIVEN BY THREATS EVOLUTION

## Streszczenie

Pojawienie się nowej usługi sieciowej, nowego protokołu sieciowego czy też zmiana podejścia do korzystania z sieci, stanowią nowe wyzwania dla potencjalnych agresorów. Ich realizacja w postaci nowych technik i metod ataków spotyka się z natychmiastową reakcją producentów rozwiązań zabezpieczeń sieciowych. Wprowadzone przez nich zmiany/ulepszenia motywują z kolei agresorów do zwiększenia wysiłków dla znalezienia obejścia nowych zabezpieczeń. I tak domyka się swoiste sprzężenie zwrotne, będące od lat motorem ewolucji sieciowych systemów bezpieczeństwa. W artykule przedstawiono rozwój systemów zabezpieczeń, poczynając od prostych bezstanowych zapór ogniowych aż po najnowsze rozwiązania klasy XTM. Prezentacja spodziewanych w przyszłości kierunków rozwoju zarówno metod ataków, jak i adekwatnych zabezpieczeń oraz wpływ tzw. czynnika ludzkiego na (nie)skuteczność sieciowych systemów bezpieczeństwa stanowi domknięcie całości artykułu.

*Słowa kluczowe: bezpieczeństwo sieci, zaporę ogniową, zagrożenia, techniki ataków*

## Abstract

Implementation of new network services and/or protocols or even change of the rules the network is used by, acts as a challenge for potential aggressors. The new techniques and methods of attacks face each other with immediate response from the vendors of network security solutions. Changes and improvements introduced by them give the aggressors a boost for finding a way around. Briefly presented way from simple stateless firewalls up to sophisticated XTM appliances, shows the evolution of security solutions. Finally, the article presents expected trends for the future security threats and solutions.

*Keywords: security threat, network security, firewall, UTM, XTM*

\* Dr inż. Jerzy M. Zaczek, Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

W początkowym okresie rozwoju sieci komputerowych podstawowym aspektem, na jaki zwracano uwagę w procesie ich projektowania i budowy, były mechanizmy komunikacji. Jedynym celem, jaki przyświecał twórcom pierwszych protokołów sieciowych, było uzyskanie możliwie efektywnej wymiany informacji. Zagadnienia związane z bezpieczeństwem komunikacji (o ile w ogóle uwzględniane) odsuwane były zdecydowanie na dalszy plan – dostatecznie dużo problemów sprawiał sam proces odpowiedniego zaprojektowania i stworzenia podstaw działania sieci. Szybko jednak okazało się, że takie podejście było błędne, a jego efekty negatywnie wpłynęły na bezpieczeństwo transmisji danych, czego skutki odczuwane są do dnia dzisiejszego – ciągle bowiem wykorzystywane są protokoły sieciowe stworzone we wczesnych latach 70. ubiegłego stulecia.

Wraz z rozwojem sieci komputerowych, szczególnie globalnej sieci Internet, zaczęły powstawać i rozwijać się różnego rodzaju zagrożenia zewnętrzne, rozpowszechniające się wraz z jej wykorzystaniem. Bardzo szybko okazało się, że konieczne jest zabezpieczenie się także przed tego typu zagrożeniami. Popularność przeprowadzania ataków z wykorzystaniem sieci komputerowych szybko rosła. Wynikało to z faktu przyłączania do sieci coraz większej liczby komputerów bez dbałości o ich bezpieczeństwo. W początkach rozwoju sieci ilość użytkowników oraz dostępnych zasobów była na tyle niewielka, że wszelkiego rodzaju zachowania niepożądane nie miały sensu. Wraz ze wzrostem dostępnych zasobów zwiększała się częstotliwość przeprowadzanych ataków.

## 2. Historia zabezpieczeń sieciowych

Rozwój sieci komputerowych spowodował, iż zaczęto w nich umieszczać (i udostępnić) na tyle cenne zasoby, że nieuniknione stały się próby dostępu do nich także osób nieuprawnionych. Spowodowało to konieczność stworzenia metod zabezpieczania zasobów sieciowych. Dla umiejscowienia rozwoju systemów bezpieczeństwa w historii sieci komputerowych warto przytoczyć kilka faktów z początkowej historii rozwoju sieci Internet [1]:

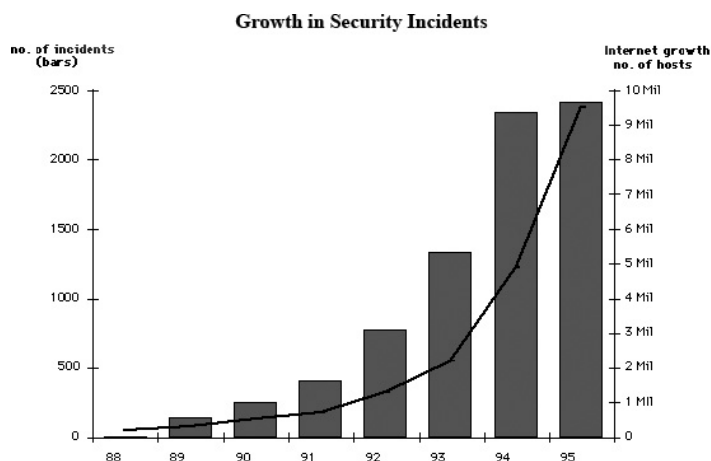
- 1969 powstaje sieć ARPANet (ang. *Advanced Research Projects Agency Network*) uznawana za bezpośredniego prekursora sieci Internet
- 1981 stworzona zostaje sieć CSNET (ang. *Computer Science NETwork*)
- 1983 stworzona zostaje brama (ang. *gateway*) pomiędzy ARPANet a CSNET; fakt ten uważa się za początek istnienia Internetu takiego, jakim znamy go dzisiaj
- 1984 powstaje system nazw domenowych DNS (ang. *Domain Name System*)
- 1985 rejestracja pierwszej nazwy domenowej (domeny) symbolics.com
- 1987 powstaje jeden z pierwszych artykułów w szeroki sposób omawiający tematykę filtrowania ruchu sieciowego [2]
- 1988 w sieci pojawia się pierwszy wirus, który zaraża dużą liczbę komputerów (blisko 6000 maszyn, czyli około 10% ówczesnej sieci)
- 1994 w wersji 1.1 jądra systemu operacyjnego Linux zaimplementowana zostaje funkcjonalność filtrowania pakietów

Znacznie wcześniej (na przełomie lat 80. i 90.) funkcjonalność taka pojawiła się w systemie operacyjnym UNIX. Pojawiło się wiele implementacji filtrowania pakietów, pierwszej

funkcjonalności dedykowanej zagadnieniom bezpieczeństwa sieci [3]. Wiele firm rozpoczęło produkcję i sprzedaż opartych na niej programowych rozwiązań typu zapor sieciowa (ang. *firewall*), przeznaczonych do zastosowań komercyjnych [4].

Pierwsze firewalle były zaporami bezstanowymi (ang. *stateless firewall*). Zajmowały się analizą wyłącznie nagłówków pakietów, nie potrafiły zatem przypisać danego pakietu sieciowego do konkretnej sesji i każdy filtrowany pakiet traktowały jako osobny byt. Decyzja o przepuszczeniu lub odrzuceniu pakietu podejmowana była w zasadzie wyłącznie w oparciu o adresy nadawcy i odbiorcy. Firewalle drugiej generacji były już filtrami stanowymi (ang. *stateful firewall*). Potrafiły przypisać poszczególne pakiety sieciowe do określonych sesji. Wymagało to utrzymywania w pamięci maszyny tablicy połączeń sieciowych, co przy ograniczonej ilości pamięci, a dużej liczbie połączeń mogło stanowić poważny problem. Fakt ten był podstawą jednego z pierwszych ataków, jakie przeprowadzane były na systemy ochrony. Były to ataki typu DoS (ang. *Deny of Service*), których celem było unieszkodliwienie filtra pakietów poprzez przepełnienie tablicy połączeń.

Z czasem okazało się, że rozwiązania programowe nie są wystarczające. Różnorodność stosowanego sprzętu (rozwiązania tego typu były często instalowane na już posiadanych przez użytkowników komputerach), ich różna, często niewystarczająca wydajność obliczeniowa, niewystarczająca ilość pamięci operacyjnej oraz wysoka zawodność doprowadziły – w sytuacji lawinowo rosnącej liczby incydentów bezpieczeństwa (rys. 1) – do powstania sprzętowych rozwiązań systemów bezpieczeństwa. Jednymi z pierwszych rozwiązań, jakie pojawiły się na rynku w 1996 roku, były urządzenia o nazwie Firebox firmy Seattle Software Labs [5] (wcześniej Mazama Software Labs, zaś od 1997 roku WatchGuard® Technologies – firma, która jest do dzisiaj jednym z czołowych producentów rozwiązań bezpieczeństwa). Również w 1996 roku powstał pierwszy firewall stworzony na bazie układu ASIC przez chińskiego inżyniera Ken Xie [6]. Założył on firmę Fortinet, w której wciąż pełni rolę prezesa. Firma ta, podobnie jak WatchGuard® Technologies, nadal pozostaje w czołówce producentów rozwiązań bezpieczeństwa.



Rys. 1. Wzrost liczby incydentów bezpieczeństwa w latach 1988-1995 [7]

Fig. 1. Growth in Security Incidents [7]

Rozwiązania sprzętowe wraz z upływem czasu ewoluowały. W niedługim czasie wyposażone zostały w dodatkowe funkcje bezpieczeństwa. Urządzenia bezpieczeństwa realizujące jedynie filtrowanie pakietów nie zapewniały należytego poziomu zabezpieczenia, co wynikało z ewolucji zagrożeń. W roku 2004 Charles Kologdy pracownik firmy International Data Corporation, zaproponował termin UTM (ang. *Unified Threat Management*) na określenie zintegrowanych rozwiązań bezpieczeństwa. Termin ten został przyjęty przez środowisko i jest powszechnie stosowany. Urządzenie, które może być nazywane tym terminem, musi oprócz funkcjonalności filtrowania pakietów realizować także dodatkowe funkcje bezpieczeństwa, takie jak:

- filtrowanie ruchu sieciowego oprogramowaniem antywirusowym,
- ochrona antyspamowa,
- ochrona przed włamaniami (ang. *Intrusion Detection System* oraz *Intrusion Prevention System*),
- filtrowanie treści w protokole http (ang. *Web Blocking*).

W roku 2008 tenże sam Charles Kologdy zaproponował nową nazwę dla urządzeń realizujących większą liczbę funkcjonalności niż rozwiązania klasy UTM – XTM (ang. *eXtensible Threat Management*). Określeniem XTM oznacza się zintegrowane rozwiązania bezpieczeństwa, które oprócz funkcjonalności realizowanej przez urządzenia UTM muszą także zapewniać (co najmniej):

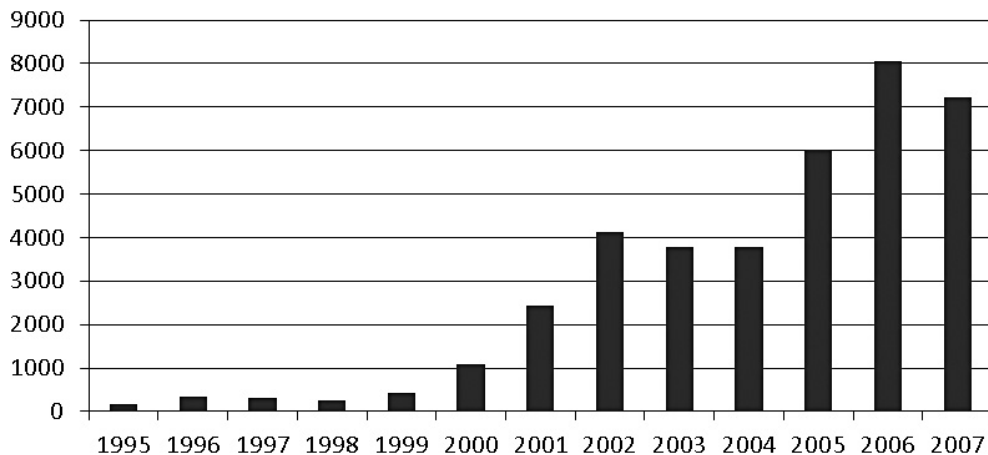
- centralne logowanie i korelację zdarzeń,
- kontrolę dostępu do zasobów sieciowych,
- zarządzanie zagrożeniami,
- ochronę bazującą na reputacji.

W praktyce rozwiązania klasy UTM, czy XTM realizują znacznie większy zbiór funkcjonalności sieciowych, zapewniających możliwie wysoki poziom bezpieczeństwa. Aktualnie na rynku, w miejscu prostych rozwiązań typu firewall dostępne są właśnie tego typu rozwiązania.

### 3. Ewolucja zagrożeń motorem napędowym ewolucji zabezpieczeń sieciowych

Zagrożenia sieciowe ciągle ewoluują a ich ilość i różnorodność nieprzerwanie rośnie. Na rysunku 2 przedstawiony jest wykres wzrostu ilości skatalogowanych podatności w latach 1995 - 2007. Każda podatność może zostać wykorzystana w ataku. Im więcej znanych podatności, tym większe prawdopodobieństwo przeprowadzenia ataków, które wraz z upływem czasu stają się coraz bardziej wyrafinowane, korzystają z nowych technik i metod przeprowadzania. Ewolucja ataków jest wynikiem ewolucji systemów zabezpieczeń. Kiedy systemy zabezpieczeń zaczynają chronić przed zagrożeniami, atakujący tworzą nowe metody ataku. W efekcie tego następuje ewolucja systemów bezpieczeństwa, które w odpowiedzi na nowe typy ataków realizują nowe sposoby ochrony przed nimi. Jest to więc rodzaj specyficznego „sprzężenia zwrotnego” gwarantującego ciągły, nierozzerwalnie ze sobą związany rozwój zarówno metod ataków jak i sposobów ochrony.

Powstaje pytanie: skąd bierze się aż tyle podatności, a co za tym idzie ataków? Powodów jest wiele. Po pierwsze podatności są najczęściej wynikiem błędów w oprogramowaniu. Tworzy się coraz więcej różnorodnego oprogramowania. Oprogramowanie to niejed-



Rys. 2. Ilość skatalogowanych podatności w latach 1995-2007 (opracowanie własne na podstawie [8])

Fig. 2. Total number of catalogued vulnerabilities, 1995-2007 [8]

nokrotnie jest bardzo zaawansowane technologicznie, a co za tym idzie skomplikowane. Im większa objętość kodu oprogramowania, tym większa jest szansa na popełnienie błędu, ponadto poziom jego skomplikowania zwiększa prawdopodobieństwo popełnienia błędu.

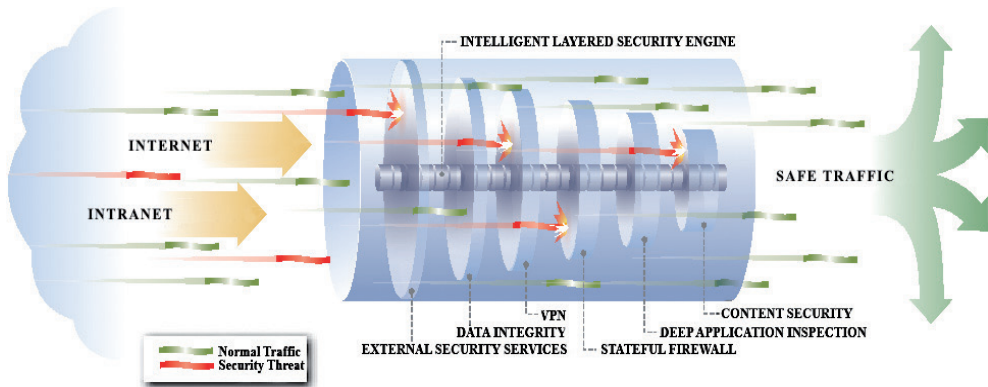
Podatności same w sobie nie powodują zwiększenia liczby ataków – gdyby nie zostały odkryte, nigdy nie zostałyby wykorzystane do ich przeprowadzania. Rodzi się więc kolejne pytanie: kto i po co wyszukuje takie podatności. Na pewno prace taką wykonują osoby, które dbają o jakość oprogramowania. Wyszukanie podatności przez te osoby nie skutkuje jednakowoż problemami z bezpieczeństwem, wręcz przeciwnie: ich działanie doprowadza do naprawy i usunięcia niebezpiecznych błędów. Inną grupą osób wyszukujących podatności są potencjalni włamywacze, pragnący wykorzystać podatności do przeprowadzenia ataku. Motywacja ich działania może być różna. Może to być chęć zemsty, chęć osiągnięcia jakiegoś celu politycznego czy religijnego, chęć uzyskania korzyści majątkowych, czy wręcz chęć udowodnienia, że potrafią przeprowadzić atak.

Zagrożenia od początków istnienia sieci Internet w dużym stopniu zmieniły się. Przede wszystkim przesunęły się wyżej w siedmiowarstwowym modelu sieci. Pierwsze zagrożenia dotyczyły głównie warstw sieciowej oraz transportowej. Przed tego typu zagrożeniami chroniły proste systemy typu *stateful firewall* (a w szczególnych przypadkach nawet *stateless firewall*). Gdy zaczęto je powszechniej stosować rozwinęły się inne metody ataków, które przeprowadzane są w wyższych warstwach, przede wszystkim w warstwie aplikacji. Paradoksalnie, rozwój sieci pozwalający na swobodny dostęp do zasobów w niej umieszczonych, spowodował obniżenie poziomu bezpieczeństwa. Pierwsze ataki przeprowadzane były przez osoby, które doskonale wiedziały, jak atak przeprowadzić. Musiały posiadać sporą wiedzę na temat pracy protokołów czy systemów sieciowych, by przeprowadzić atak. Tylko wybitne jednostki potrafią wyszukiwać podatności typu *Zero Day*. Podatności takie to podatności wcześniej nieznanne, których wykorzystanie najprawdopodobniej pozwoli na przeprowadzenie udanego ataku. Ponadto osoby przeprowadzające ataki same tworzyły narzędzia służące do przeprowadzenia ataku, udostępniając je później innym osobom (także

z wykorzystaniem sieci). Kiedy narzędzia służące do przeprowadzania ataku stają się publicznie dostępne, są wykorzystywane przez osoby, które nie posiadają odpowiedniej wiedzy, by samemu zaplanować i przeprowadzić atak. Powoduje to, że znacznie większa liczba osób może próbować takie ataki przeprowadzać, co doprowadza do znacznego zwiększenia ich wolumenu. Sytuacja taka wymaga z kolei od systemów bezpieczeństwa istotnie większej mocy obliczeniowej, gdyż muszą one reagować na znacznie większą liczbę incydentów. Trend ten doprowadził do powstania wysoce specjalizowanych, sprzętowych rozwiązań zabezpieczających sieciowe systemy komputerowe.

Powstanie gotowych narzędzi służących do przeprowadzania znanych ataków spowodowało lawinowy wzrost ich liczby. Ochrona przed takimi atakami jest stosunkowo łatwa, gdyż wiadomo, jak są one przeprowadzane, a co za tym idzie, wiadomo, co powinno zostać zablokowane. Systemy, których zadaniem jest ochrona przed atakami, to tzw. systemy wykrywania włamań IDS (ang. *Intrusion Detection Systems*). W typowej postaci systemy te wyposażone są w zbiory sygnatur, które służą do wykrywania niepożądanych zachowań. Jeżeli aktualnie obserwowany ruch sieciowy pasuje do sygnatury, uznaje się, że przeprowadzany jest atak. O fakcie tym informowany jest administrator systemu, możliwe jest także automatyczne podjęcie akcji, np. zablokowanie ruchu sieciowego. Tego typu automatyzację podejmowanych działań, a co za tym idzie krótszy czas reakcji na zagrożenie, realizują systemy ochrony przed włamaniami IPS (ang. *Intrusion Prevention Systems*). Sprzętowe rozwiązania bezpieczeństwa, aby mogły zostać uznane za rozwiązanie klasy UTM, muszą być wyposażone w moduł IPS lub przynajmniej IDS.

Innym zagrożeniem, które zaczęło rozprzestrzeniać się w sieci, było (i jest nadal) wszelkiego rodzaju szkodliwe oprogramowanie, a więc wirusy, robaki, *malware* i inne. Oprogramowanie tego typu przenoszone było wcześniej na nośnikach danych – wykorzystanie sieci Internet do wymiany danych spowodowało, że czas rozprzestrzeniania się zagrożenia znacznie się skrócił, a liczba zarażonych komputerów wzrosła wielokrotnie. Odpowiedzią na to zagrożenie, ze szczególnym uwzględnieniem mechanizmu propaga-



Rys. 3. Wielopoziomowa struktura ochrony danych w systemach klasy UTM (opracowanie własne na podstawie [9])

Fig. 3. Multilayered Security Structure [9]

cji, było wyposażenie zintegrowanych systemów bezpieczeństwa w oprogramowanie antywirusowe. Pozwala to na skanowanie „w locie” ruchu sieciowego i ochronę przed niebezpiecznym kodem.

Podobne rozszerzenie funkcjonalności sprzętowych rozwiązań bezpieczeństwa nastąpiło w przypadku odpowiedzi na rosnące zagrożenie zalewem niechcianych wiadomości pocztowych (ang. *spam*). W celu ochrony użytkowników przed niechcianymi treściami, rozsyłanymi z użyciem poczty elektronicznej, wprowadzono ochronę antyspamową. Ochrona ta, realizowana na różne sposoby, ma na celu odfiltrowanie niechcianych wiadomości pocztowych i w zależności od kwalifikacji poszczególnych komunikatów, następuje (w typowych konfiguracjach) ich odrzucenie, oznaczenie lub przesłanie do kwarantanny.

Jak wcześniej wspomniano, wraz z powstawaniem kolejnych usług świadczonych w sieci Internet wzrosła liczba ataków przeprowadzanych w wyższych warstwach siedmiosegmentowego modelu sieci. Szczególnie chodzi tutaj o warstwę aplikacji. Konieczna stała się ochrona w tej warstwie, zwłaszcza najczęściej stosowanych protokołów, takich jak HTTP, SMTP, FTP, DNS, HTTPS, czy ostatnio także protokołów VoIP, a więc H.323 oraz SIP. Ochrona z wykorzystaniem proxy filtrujących pozwala na analizę nie tylko tego, czy danym protokole przesyłane są dane, ale także jakie to są dane i jak są przesyłane. Przykładowo w proxy filtrującym dla protokołu HTTP możliwe jest zabronienie przesyłania danych w postaci dokumentów tekstowych. Proxy filtrujące będzie w stanie wychwycić tego typu dane i zablokować je, podczas gdy np. pliki typu PDF w dalszym ciągu będą mogły być przesyłane. Proxy filtrujące pozwala na kontrolę nie tylko treści przesyłanych danych, ale samego zachowania się protokołu, co pozwala np. na ograniczenie metod oraz poleceń protokołu stosowanych do przesyłania danych. Proxy filtrujące analizują transmisję w celu wykrycia, czy jest ona zgodna ze standardami danego protokołu. Jeśli odbiega od standardu, może zostać przerwana. Pozwala to na zabezpieczenie się przed próbami ukrycia ruchu sieciowego w innym, pozornie bezpiecznym protokole (tzw. steganografia sieciowa); przykładowo ukrywanie ruchu IP (a więc dowolnego ruchu w warstwach wyższych) w komunikatach DNS.

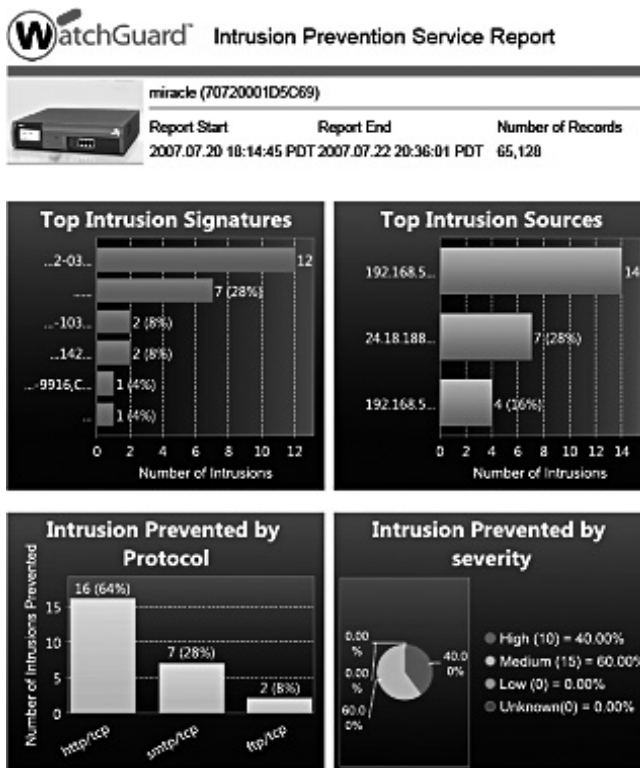
Sprawa filtrowania ruchu w warstwie aplikacji komplikuje się w przypadku wykorzystania bezpiecznej wersji jakiegoś protokołu, na przykład użycie HTTPS w miejsce HTTP. Filtrowanie treści przesyłanych w tego typu protokołach przeczy w istocie rzeczy samej ich idei — tworzeniu tych protokołów przyświeca idea uczynienia ich bezpiecznymi, czyli uniemożliwiający przechwycenie danych w trakcie transmisji. Aby możliwe było filtrowanie danych w protokole HTTPS, konieczne jest *de facto* prowadzenie w trakcie filtrowania działania analogicznego do ataku typu *Decryption-in-the-Middle*. Zintegrowane, sprzętowe rozwiązania bezpieczeństwa, przy odpowiedniej konfiguracji potrafią ten sposób filtrować protokół HTTPS na takim samym poziomie, na jakim jest to możliwe dla HTTP.

Korzystanie z nowych sposobów przesyłania danych (ogólnie: komunikowania się) w sieci powoduje powstanie nowych potencjalnych kierunków ataków. Celem tego typu nowych kierunków ataków mogą być wszelkiego rodzaju sieci P2P, komunikatory internetowe, a ostatnio zwłaszcza sieci i portale społecznościowe. Podstawowe problemy, jakie wynikają z ich wykorzystywania, to duża popularność, a co za tym idzie – duże zainteresowanie wśród potencjalnych intruzów.

Popularność ta wynika w dużej mierze z rodzaju treści przesyłanych w tych sieciach. Są one interesujące dla ich użytkowników ze względu na charakter (informacje o wydarze-

niach dotyczących jakiejś grupy społecznej czy dystrybucja oprogramowania w sieciach P2P) i tym samym stanowią potencjalny cel ataków. Innym problemem dotyczącym tej grupy protokołów sieciowych jest ich rozproszony charakter i pewna dowolność komunikacji. Aplikacje korzystające z tego typu protokołów komunikują się najczęściej w sposób bardzo elastyczny. Rzadko kiedy wykorzystywane są stałe porty czy adresy konkretnych serwerów. Najczęściej parametry te są zmienne. Pojawia się zatem problem filtrowania tego typu ruchu. Zazwyczaj nie da się go ograniczyć poprzez zablokowanie konkretnych portów czy adresów IP. Konieczne jest inne działanie, podobne do metod wykorzystywanych w systemach IDS, a więc wyszukiwanie w komunikacji sieciowej (na dowolnych portach) ruchu, który pasuje do danego protokołu. Analizowane są charakterystyczne cechy, pozwalające na rozróżnienie poszczególnych protokołów. Gdy ruch taki zostanie wychwycony, może zostać zablokowany. Urządzenia sprzętowe realizują tego typu zadania z użyciem funkcjonalności kontroli aplikacji (ang. *Application Control*).

Obrona przed wszelkiego rodzaju zagrożeniami możliwa jest oczywiście tylko w sytuacji, gdy zostaną one wykryte. Ma to szczególne znaczenie przypadku nowych zagrożeń (zagrożenie już rozpoznane posiadają swoje sygnatury w systemach IPS). Wykrywanie zagrożeń wymaga z kolei nieustannego monitorowania sieci w celu analizy ruchu



Rys. 4. Przykładowe raporty systemu IPS (opracowanie własne na podstawie [9])

Fig. 4. IPS Reports – examples [9]



sieciowego. Analiza taka może udzielić odpowiedzi na pytanie, czy w sieci aktualnie przeprowadzany jest atak. Monitorowanie sieci, przede wszystkim ze względu na dużą ilość przesyłanych danych, nie jest zadaniem prostym. Konieczne jest wykorzystywanie wyspecjalizowanych narzędzi, których zadaniem jest zbieranie informacji o ruchu sieciowym, a następnie generowanie raportów obrazujących stan sieci. Raporty mogą wskazać nietypowe zachowania, świadczące o prowadzonym ataku. Zintegrowane rozwiązania zabezpieczające sieć komputerową wyposażane są w moduły zbierania informacji o ruchu sieciowym oraz moduły raportowania pozwalające na realizację ww. analizy. Na rysunku 4. przedstawiono przykładowe raporty generowane przez lidera [10] rynku rozwiązań IPS, firmę WatchGuard® Technologies.

W ostatnich latach można zaobserwować znaczny wzrost popularności urządzeń mobilnych. Organizacje (firmy) wyposażają swoich pracowników w urządzenia, które pozwalają na zdalną pracę z niemal dowolnego miejsca. Konieczne jest zapewnienie bezpiecznego kanału transmisyjnego pomiędzy urządzeniem mobilnym a zasobami znajdującymi się w siedzibie firmy. Funkcjonalność taka, wcześniej wykorzystywana do bezpiecznego łączenia rozproszonych geograficznie oddziałów firmy, realizowana jest przez tunele VPN. Sprzętowe rozwiązania zabezpieczania sieci umożliwiają zestawianie tuneli VPN pomiędzy różnymi urządzeniami bezpieczeństwa (w przypadku łączenia oddziałów) lub pomiędzy oprogramowaniem zainstalowanym na urządzeniu mobilnym, a urządzeniem bezpieczeństwa (zdalny pracownik).

#### **4. Ewolucja zabezpieczeń sprzętowych**

Jak wcześniej wspomniano, ewolucja zabezpieczeń sprzętowych wynika z ewolucji zagrożeń i typów przeprowadzanych ataków, jako naturalna konsekwencja chęci ochrony przed nimi. Możliwe są dwie drogi rozwoju systemów zabezpieczeń. Pierwsza to tworzenie zintegrowanych systemów, w przypadku których jedno rozwiązanie sprzętowe realizuje wiele funkcji. Drugą możliwą drogą rozwoju jest tworzenie osobnych urządzeń realizujących pojedyncze funkcjonalności.

Obie drogi rozwoju posiadają zalety i wady. W przypadku rozwiązań zintegrowanych jedną z zalet jest z pewnością uproszczone zarządzanie. Znacznie łatwiej i wygodniej jest zarządzać pojedynczym rozwiązaniem niż ich zbiorem. Zintegrowane rozwiązania ułatwiają także współpracę pomiędzy poszczególnymi modułami. System IPS, realizując swoją rolę, musi wpływać na konfigurację zapory sieciowej (w celu zablokowania niepożądanego ruchu sieciowego). Realizacja tego zadania jest stosunkowo prosta w przypadku, gdy oba moduły pracują w oparciu o wspólną, zintegrowaną platformę. Nie bez znaczenia jest także aspekt ekonomiczny. Platformy zintegrowane są z reguły tańsze (zarówno w zakupie, jak i późniejszym utrzymaniu) od platform dedykowanych.

Podstawową wadą systemów zintegrowanych jest z kolei problem ich wydajności. Rozwiązania te muszą świadczyć jednocześnie wiele usług bezpieczeństwa, co niejednokrotnie wiąże się z koniecznością wykonywania licznych, złożonych obliczeniowo operacji (np. jednoczesne skanowanie w locie ruchu programem antywirusowym i szyfrowanie danych przesyłanych kanałem VPN). Odpowiedzią na problemy wydajnościowe może być rozdzielenie realizacji poszczególnych funkcjonalności na oddzielne, pojedyncze rozwią-

zania. Dedykowane rozwiązania oprócz większej wydajności posiadają także zazwyczaj większą funkcjonalność, niż moduły w platformach zintegrowanych. Podejście takie jest jednak znacznie trudniejsze w zarządzaniu i zdecydowanie droższe.

W praktyce okazuje się, że obrona została drogą pośrednią. Tworzy się rozwiązania zintegrowane, realizujące równocześnie wiele funkcjonalności bezpieczeństwa. Jeśli jednak okazuje się, że rozwiązania takie nie są w stanie sprostać wymaganiom wydajnościowym, to albo tworzy się klastry takich urządzeń (w celu zwiększenia wydajności poprzez rozproszenie realizacji różnych zadań), albo do wykonywania zadania najbardziej obciążającego, czy też najbardziej istotnego z punktu prowadzenia działalności biznesowej danej organizacji, stosuje się dedykowane urządzenia. Przykładem takiego połączenia rozwiązań może być wykorzystanie zintegrowanego rozwiązania do ochrony zasobów oraz dedykowanego rozwiązania do tworzenia tuneli VPN dla użytkowników mobilnych.

Rozwiązania sprzętowe na przestrzeni lat ewoluowały od prostych zapór sieciowych, poprzez zintegrowane urządzenia klasy UTM, aż do rozwiązań XTM. Ewolucja ta, wymuszona rozwojem zagrożeń, powodowała dodawanie kolejnych funkcjonalności — produkty ewoluowały w taki sposób, by spełniać wymagania rynku. Część funkcjonalności została dodana w celu ułatwienia zarządzania (np. możliwość zarządzania produktem z wykorzystaniem różnych interfejsów), czy realizacji funkcji sieciowych, które nie mają bezpośredniego wpływu na bezpieczeństwo, jak na przykład obsługa tzw. kształtowania ruchu (ang. *traffic shaping*). Oprócz rozwiązań UTM czy XTM powstały inne grupy rozwiązań sprzętowych, dedykowane do wykonywania specyficznych funkcji. Przykładem tego typu rozwiązań są urządzenia SSL VPN Gateway czy Content Filtering. Te dwie klasy urządzeń są obecnie reprezentowane w portfolio wielu producentów.

Rozwiązania SSL VPN Gateway służą do zestawiania bezpiecznego kanału transmisyjnego z dowolnej maszyny (nawet niezaufanej) i z dowolnej sieci. Pozwalają z użyciem jedynie przeglądarki internetowej na uzyskanie bezpiecznego dostępu do chronionych zasobów. Rozwiązania te jednocześnie wyposażone są w funkcje pozwalające na analizę poziomu bezpieczeństwa maszyny, z której następuje połączenie. Tylko jeżeli maszyna ta spełnia postawione wcześniej warunki, połączenie zostanie zestawione, w każdym innym przypadku nie będzie to możliwe. Dodatkowo urządzenia tej klasy w momencie zakończenia zdalnej sesji wykonują wiele operacji w celu usunięcia wszelkich danych, które mogły zostać zapisane na komputerze (zarówno danych tymczasowych, jak i danych pobieranych przez użytkownika). Rozwiązania te tworzone są jako dedykowany sprzęt przede wszystkim po to, by zapewnić odpowiednią wydajność, umożliwiającą zestawianie dużej ilości (np. kilku tysięcy) jednoczesnych połączeń.

Inną klasą dedykowanych rozwiązań są rozwiązania Content Filtering. Podobnie jak w przypadku SSL VPN Gateway, podstawową motywacją tworzenia tego typu rozwiązań jako niezależnych urządzeń jest chęć zapewnienia odpowiedniej wydajności. Filtrowanie ruchu sieciowego w warstwach wyższych wymaga dużej mocy obliczeniowej (zwłaszcza gdy konieczne jest filtrowanie z wykorzystaniem programu antywirusowego czy antyspamowego). Dedykowane rozwiązania potrafią zapewnić odpowiednią wydajność, oferując dodatkowo możliwość skanowania przesyłanych treści w celu wykrycia incydentów wycieku danych. Pozwala to na ochronę przed nieuczciwymi pracownikami, którzy mogą próbować wyprowadzić cenne dane a także przed zwykłymi błędami pracowników, którzy cenne dane mogą (nieświadomie) przesłać np. pod omyłkowo podany adres poczty elektronicznej.

## 5. Spodziewany rozwój zabezpieczeń w przyszłości

Rozwój zabezpieczeń sprzętowych w najbliższym czasie będzie prawdopodobnie obejmował trzy główne kierunki. Po pierwsze rozwiązania sprzętowe muszą reagować na zmiany w komunikacji sieciowej. W ostatnim czasie wzrasta w sieci ruch wykorzystujący protokół IPv6. Część rozwiązań sprzętowych ciągle nie wspiera tego protokołu, niektóre wspierają go tylko częściowo. Przewiduje się, że w przeciągu najbliższych lat udział ruchu IPv6 będzie wzrastał – konieczne zatem będzie zabezpieczanie także tego typu ruchu sieciowego.

Kolejnym kierunkiem rozwoju będzie z pewnością reakcja na nowe zagrożenia. Jednym z takich zagrożeń są ataki typu APT (ang. *Advanced Persistent Threats*). Są to ataki charakteryzujące się wysoką skutecznością, wynikającą przede wszystkim z motywacji. Ataki przeprowadzane są w celu osiągnięcia dużych korzyści finansowych czy politycznych bądź też z pobudek religijnych. Jak wiadomo, są to jedne z najsilniejszych motywacji. Znane są z innych dziedzin sytuacje, gdzie takie właśnie motywacje pozwalają osiągać najtrudniejsze cele – są to w końcu motywacje działań doprowadzających ostatecznie do wybuchu wojen czy przeprowadzania ataków terrorystycznych.

Ataki APT wykorzystują bardzo wyrafinowane i nietypowe techniki propagacji zagrożeń. Są atakami prowadzonymi w sposób pozwalający na długotrwałe pozostawanie w ukryciu. Przeprowadzane są przeciwko dokładnie określonym celom – nie ma tutaj przypadkowości w wyborze celu. Są bardzo niebezpieczne, ze względu na bezwzględną skuteczność. Nie liczy się czasu poniesione koszty, a osiągnięty cel. Ataki tego typu przeprowadzane są przez specjalistów w tej dziedzinie. Tylko oni są w stanie tworzyć nowe metody rozprzestrzeniania się zagrożeń.

Ochrona przed atakami APT jest bardzo trudna. Wynika to z ich nietypowej metodologii i silnej motywacji agresora. Wydaje się, że rozwiązania sprzętowe muszą rozwinąć się w taki sposób, by pozwalać na wykrywanie ataków APT. Wykrywanie nieznanych wcześniej ataków jest zagadnieniem trudnym (podobnie jak tworzenie nowych metod czy technik ataku). Pomocne mogą się tutaj okazać systemy HoneyPot. Systemy te pozwalają realizować dwa podstawowe zadania. Po pierwsze mogą udostępniać potencjalnemu włamywaczowi treści, które on może uznać za cenne, a które w rzeczywistości takimi nie są. Systemy HoneyPot często udostępniają fałszywe dane, które mogą zainteresować włamywacza. Jego uwaga zostanie odwrócona od faktycznie istotnych zasobów, co pozwoli na bezpieczne śledzenie jego działań i w efekcie umożliwi jego identyfikację. Ponadto włamywacz, który zainteresuje się fałszywym systemem (systemy HoneyPot udają, że są tymi chronionymi), nie będzie atakował systemu chronionego. Śledzenie działalności włamywacza pozwala także na analizę technik jego działania, co perspektywicznie może posłużyć identyfikacji nowych zagrożeń. Wiedza zdobyta w ten sposób może także pozwolić na tworzenie i rozwijanie innych metod zabezpieczania się przed atakiem (np. stworzenie nowych sygnatur dla systemów IPS). Wydaje się, że narzędzia, które pozwolą na identyfikacje nowych, nieznanych wcześniej zagrożeń i metod ataków, stanowią przyszłą ścieżkę rozwoju zintegrowanych urządzeń zabezpieczających.

Trzecim ze spodziewanych kierunkiem rozwoju (który już został zapoczątkowany) jest realizacja dostępu do zasobów, opierająca się na tożsamości użytkowników [11]. Podstawowym elementem decydującym o tym, czy dane urządzenie ma uzyskać dostęp do zasobu, przestanie być jego adres IP. W coraz bardziej mobilnym świecie podejście takie traci

sens, gdyż bardziej istotny staje się fakt, kto danego urządzenia używa. Wydaje się, że naturalną konsekwencją takiego podejścia będzie wprowadzenie autentykacji na wszelkiego rodzaju urządzeniach. Część obecnych rozwiązań oferuje już autentykację, ale jest ona często niewygodna dla użytkowników (wymaga np. zalogowania się na dedykowanej stronie WWW). Rozwój w tej dziedzinie powinien doprowadzić do ułatwienia tego procesu, np. poprzez wprowadzenie metod transparentnej autentykacji (niektóre rozwiązania oferują już dzisiaj takie funkcje, jednakże tylko dla wybranych systemów autentykacji).

Dostęp do zasobów realizowany z wykorzystaniem tożsamości użytkowników to nie tylko zwiększenie poziomu bezpieczeństwa. To także zwiększenie łatwości zarządzania zasobami i możliwości monitorowania działalności użytkowników, a co za tym idzie łatwiejsze monitorowanie pracy sieci. Wszelkiego rodzaju raporty (tworzone równoległe z monitorowaniem) zawierać bowiem mogą nazwy użytkowników, a nie adresy IP. Ponadto rozprzestrzenianie się różnego rodzaju zagrożeń będzie utrudnione, gdyż dostęp do zasobów wymagać będzie dokonania wcześniejszej autentykacji. Również zarządzanie zasobami w pewnych warunkach może ulec ułatwieniu. Zależnie od tego, kto korzysta z danego urządzenia, może posiadać różne prawa dostępu – nie ma konieczności każdorazowego ich modyfikowania, gdy zmienia się użytkownik tego urządzenia.

## 6. Znaczenie ‘czynnika ludzkiego’ w systemach bezpieczeństwa

Systemy zabezpieczające zasoby dostępne w sieciach komputerowych są niezwykle istotne dla procedur ich ochrony przed niepożądanym dostępem. Niestety samo ich stosowanie, nawet w najbardziej świadomy i wyrafinowany sposób, nie uchroni zasobów przed nierozważnymi działaniami uprawnionych użytkowników. Systemy takie nie są w stanie w pełni zabezpieczyć przed nieuczciwą działalnością zaufanego pracownika lub jego szkodliwymi zachowaniami wynikającymi po prostu z nieświadomości. Typowym przykładem może być tutaj zalecane czy wręcz wymagane korzystanie z protokołu HTTPS w miejsce standardowego HTTP do komunikacji np. z systemami bankowości elektronicznej. Sam protokół nie zapewni bezpiecznego dostępu, jeśli użytkownik nie będzie korzystał z niego świadomie (czyli nie zweryfikuje poprawności certyfikatu). Nierozważne kliknięcie przycisku OK w pojawiającym się oknie dialogowym z informacją o nieprawidłowym certyfikacie może spowodować utratę nie tylko cennych informacji, ale także środków finansowych.

Podobne problemy dotyczą systemów zabezpieczających zasoby sieciowe. Nie pomogą żadne zabezpieczenia, jeśli użytkownicy systemów będą je omijać w codziennej pracy, bo „utrudniają im pracę”. Systemy bezpieczeństwa powinny być tak projektowane, by nie wpływały negatywnie na komfort korzystania z systemu komputerowego — niestety nie zawsze jest to możliwe. Z jeszcze gorszą sytuacją mamy do czynienia w przypadku, gdy osoby uprzywilejowane w danej organizacji uważają, że pewne zasady ich nie dotyczą.

Bezpieczeństwo zasobów to nie tylko zabezpieczanie ich przy użyciu wyrafinowanych rozwiązań, to także korzystanie z nich przy zachowaniu odpowiednich reguł. Wyobraźmy sobie sytuację, w której dyrektor dużego działu firmy zapomniał swojego hasła. Do tego założymy, że jest to człowiek nieznoszący sprzeciwu, nerwowo reagujący na wszelkiego rodzaju odmowy czy utrudnienia ze strony podwładnych. Kiedy osoba taka zapomni hasła, zapewne natychmiast zadzwoni do działu IT w celu zmiany swojego hasła. Pracownik IT nie

powinien takiej operacji przeprowadzać przez telefon, bez wcześniejszej identyfikacji rozmówcy. Oczywiście zdenerwowany szef może zacząć krzyczyć na podwładnego i wymusić na nim działanie (np. poprzez groźbę). Zachowanie takie, niestety nagminnie obserwowane, stanowi wielkie zagrożenie, ponieważ może zostać wykorzystane do przeprowadzenia ataku socjotechnicznego w celu uzyskania dostępu do zasobów. Przykłady tego typu można mnożyć. Osoby zainteresowane takimi historiami kierują do lektury książki [12].

Wnioski z powyższych rozważań nasuwają się same. Oprócz stosowania zabezpieczeń fizycznych (do których należą wszelkiego rodzaju systemy bezpieczeństwa) konieczne jest wprowadzenie ściśle zdefiniowanych i bezwzględnie przestrzeganych procedur bezpieczeństwa. Konsekwentne wdrożenie zasad postępowania i żelaznej reguły mówiącej, że nikt w żadnej sytuacji nie może ich omijać pozwalają unikać wszelkiego rodzaju nietypowych zachowań, które zazwyczaj dają możliwość przeprowadzenia natychmiastowego i skutecznego ataku sytuacji. Niezwykle istotna jest także edukacja. Pozwala ona na świadome korzystanie przez przeciętnego pracownika z systemów komputerowych, z zachowaniem podstawowych zasad bezpieczeństwa. Pozwala także wytłumaczyć użytkownikom, po co stosuje się konkretne zabezpieczenia. Użytkownicy, gdy będą rozumieli w jakim celu są stosowane, zapewne przestaną je postrzegać jako problem w wykonywaniu codziennych obowiązków, a co za tym idzie – przestaną je obchodzić.



Rys. 5. „The Info-Tech UTM Vendor Landscape” (opracowanie własne na podstawie [10])

Fig. 5. „The Info-Tech UTM Vendor Landscape” [10]

## 7. Wnioski

Rozwój sieciowych systemów zabezpieczeń, poczynając od prostych bezstanowych zapór ogniowych kończąc na najnowszych rozwiązaniach klasy XTM, jest ewidentnie wymuszany przez ewolucję technik i metod ataków, spotykającą się natychmiastową reakcją producentów rozwiązań zabezpieczeń sieciowych. To swoiste sprzężenie zwrotne, będące od lat motorem ewolucji sieciowych systemów bezpieczeństwa powoduje ich dynamiczny rozwój. Na rynku dostawców tego typu rozwiązań trwa nieustanny wyścig, którego pozytywnym wynikiem są coraz lepsze i skuteczniejsze systemy.

Mnogość oferowanych rozwiązań wymusza jednak zachowanie dużej staranności przy ich doborze do konkretnych potrzeb, przez świadomego zagrożenia użytkownika. Pomocą mogą tu być publikowane przez specjalizujące się w ich (rozwiązań) ocenie organizacje. Na rysunku 5 przedstawiono syntetyczny obraz wniosków płynących z ostatniego (sierpień 2011) raportu Info-Tech Research Group [10], pozycjonującego dostawców rozwiązań klasy UTM. Zgodnie z wynikami tego badania firma WatchGuard® Technologies uzyskała za szczytny tytuł „UTM Champion and Value Award Winner”.

Artykuł zgłoszony do publikacji w grudniu 2011.

## Literatura

- [1] Żenkiewicz J., *Powstanie i rozwój internetu: kalendarium*, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Uczelniane Centrum Informatyczne, 2004, <http://www.umk.pl/~zenkiewicz/kalendarium>.
- [2] Mogul J.C., Rashid R.F., Accetta M.J., *The Packet Filter: An Efficient Mechanism for User-level Network Code*, Proceedings of the 11th Symposium on Operating Systems Principles, ACM SIGOPS, Austin, Texas, November 1987.
- [3] Kostick Ch., *Building a Linux firewall*, Linux™ Journal, Issue 24, April 1996, <http://www.linuxjournal.com/node/1212/print>.
- [4] Staff L.J., *Mazama Packet Filter*, Linux™ Journal, Issue 14, June 1995, <http://www.linuxjournal.com/article/1102>.
- [5] *New Internet Firewall Security System Sets Benchmarks for Low Cost, Easy Installation/Management and Flexible Deployment*, The Free Library by Farlex, Seattle, WA, July 1996, <http://www.thefreelibrary.com/new+internet+firewall+security+system+sets+benchmarks+for+low+cost,...-a018521940>.
- [6] *Executive Management*, Fortinet (NASDAQ: FTNT), <http://www.fortinet.com/aboutus/management.html>.
- [7] Longstaff T.A., Ellis J.T., Hernan S.V., Lipson H.F., McMillan R.D., Pesante L.H., Simmel D., *Security of the Internet*, The Froehlich/Kent Encyclopedia of Telecommunications, vol. 15., Marcel Dekker, New York, 1997, 231-255.
- [8] Statystyki organizacji CERT dostępne on-line: <http://www.cert.org/stats/>.
- [9] *Fireware XTM. The next generation of network security runs in the family*, WatchGuard® Technologies, October 2011, <http://www.watchguard.com/products/fireware-xtm.asp>.
- [10] Info-Tech Research Group, *The Info-Tech UTM Vendor Landscape*, August 2011, <http://www.infotech.com/research/it-vendor-landscape-storyboard-unified-threat-management>.
- [11] Gold S., *The Future of the Firewall*, Network Security, Volume 2011, Issue 2, February 2011, Pages 13-15.
- [12] Mitnick K., Simon W.L., *Sztuka podstępny. Łamalem ludzi, nie hasła*, Helion, Gliwice 2003, ISBN: 83-7361-116-9

MIECZYŚLAWA SOLIŃSKA\*

ASPEKTY BEZPIECZEŃSTWA ENERGETYCZNEGO  
W ŚWIETLE PAKIETU KLIMATYCZNEGO 3×20ENERGY SECURITY ASPECTS IN THE CONTEXT  
OF THE CLIMATE CHANGE PACKAGE 3×20

## Streszczenie

W artykule przedstawiono problematykę bezpieczeństwa energetycznego w kontekście unijnej dyrektywy dotyczącej pakietu klimatyczno-energetycznego 3 × 20%. Dyrektywa ta zakłada między innymi ograniczenia w zużyciu energii i emisji dwutlenku węgla. To przełoży się, jak udowodniono, na wzrost cen energii. Wykazano również negatywny wpływ tej dyrektywy na wzrost gospodarczy. Istotne jest również to, że największe konsekwencje wprowadzenia tej dyrektywy odczuwać będzie Polska. Wynika to z węglowej struktury bilansu paliwowo-energetycznego.

*Słowa kluczowe: polityka energetyczna, odnawialne źródła energii, bezpieczeństwo energetyczne*

## Abstract

This paper presents the problem of energy security in the context of the EU Directive concerning the energy and climate package 3 × 20%. The Directive assumes particularly other limitations in energy consumption and carbon emission. As proved this will translate into the increase in energy prices. It was also revealed the negative impact on this Directive on the economic growth. It is also important that Poland will feel the greatest impact of the introduction this Directive into practice. This is due to the carbon structure of fuel and energy balance.

*Keywords: energy policy, renewable energy sources, energy security*

\* Dr Mieczysława Solińska, Instytut Ekonomii, Socjologii i Filozofii, Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki, Politechnika Krakowska.

## 1. Bezpieczeństwo energetyczne

Bezpieczeństwo energetyczne jest częścią bezpieczeństwa narodowego, które obejmuje, ogólnie mówiąc, działania związane z pokryciem zapotrzebowania gospodarki na nośniki energii. Może być rozpatrywane w kilku wymiarach [4]:

1. Surowcowo-produktowym – dotyczy monitorowania i prognozowania potrzeb energetycznych państwa, z uwzględnieniem obecnych i dających się przewidzieć przyszłych potrzeb oraz uwzględniający różnorodność, ilości i ceny nośników energii koniecznych do prawidłowego funkcjonowania i rozwoju gospodarki. Działania związane z tym wymiarem mają na celu zapewnienie dostaw poszczególnych nośników energii w ilościach niezbędnych do występujących potrzeb po możliwie niskich cenach;
2. Infrastrukturalnym – dotyczy istnienia i prawidłowego funkcjonowania instalacji koniecznych do zapewnienia ciągłości dostaw poszczególnych nośników energii;
3. Politycznym – obejmuje działania państwa w obszarze kontroli właścicielskiej, regulacji prawnych działań gospodarczych, w tym zezwoleń i koncesji, oraz dotyczy polityki fiskalnej i budżetu państwa. Może obejmować skażenie środowiska, ochronę środowiska, zagrożenie terrorystyczne itp.;
4. Międzynarodowym – uwzględnia powiązania w polityce międzynarodowej państwa, w których znaczenie mają kwestie przypisane pozostałym wymiarom bezpieczeństwa energetycznego. W ramach tego wymiaru rozpatruje się konieczność importu nośników energii i sposoby jego realizacji, zobowiązania wynikające z porozumień międzynarodowych;
5. Kapitału ludzkiego – dotyczy dostępności osób dysponujących wiedzą i umiejętnościami niezbędnymi do wykonywania zadań z zakresu bezpieczeństwa energetycznego.

Istnieje wiele definicji bezpieczeństwa energetycznego, na przykład polskie prawo definiuje bezpieczeństwo energetyczne jako: „stan gospodarki umożliwiający pokrycie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na paliwa i energię w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy zachowaniu wymagań ochrony środowiska” [4].

Przez bezpieczeństwo dostaw paliw i energii rozumie się także zapewnienie stabilnych dostaw paliw i energii na poziomie gwarantującym pokrycie krajowych potrzeb po cenach akceptowanych przez gospodarkę i społeczeństwo przy założeniu optymalnego wykorzystania krajowych złóż surowców energetycznych oraz poprzez dywersyfikację źródeł i kierunków dostaw ropy naftowej, paliw ciekłych i paliw gazowych [4].

**Podstawowe kierunki polityki energetycznej, które powinny zapewnić bezpieczeństwo energetyczne:**

- wzrost wydajności energetycznej,
- wzrost bezpieczeństwa dostaw paliw i energii,
- dywersyfikacja struktury wytwarzania energii poprzez wprowadzenie energetyki jądrowej,
- rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii, w tym biopaliw,
- rozwój konkurencyjnych rynków paliw i energii,
- ograniczenie oddziaływania energetyki na środowisko.

Rzadko jednak w dyskusjach o poprawie stanu środowiska wskazuje się na koszty, kto będzie musiał je ponosić i jaki to będzie miało skutek dla gospodarki. Istotne jest to, że zawsze w wyniku zaniedbań w organizacji procesów gospodarczych, występowania szkód



ekologicznych, koszty dodatkowe ponosi społeczeństwo. Są to tzw. koszty zewnętrzne. W takim kontekście należy rozpatrywać dyrektywę Unii Europejskiej, tzw. Pakiet energetyczno-klimatyczny  $3 \times 20\%$ .

Przyjmując politykę zmniejszenia emisji dwutlenku węgla jako elementu poprawy stanu środowiska, trzeba brać pod uwagę, że za jego stan jesteśmy odpowiedzialni wszyscy, bowiem beneficjentami jego poprawy są wszyscy. Jeżeli wszyscy mają skorzystać na poprawie środowiska, to wszyscy powinni przyczynić się w miarę możliwości solidarnie do jego poprawy podchodzić i solidarnie ponosić koszty z tego wynikające.

Komisja Europejska opublikowała pakiet 10 stycznia 2007 r. Pakiet zawiera trzy główne cele do osiągnięcia przed 2020 rokiem:

1. Obniżenie emisji gazów cieplarnianych o 20% w porównaniu do roku 1990;
2. Obniżenie zużycia energii o 20% w porównaniu z prognozami dla UE w 2020 roku;
3. Zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii do 20% całkowitego zużycia energii w UE, w tym zwiększenia energii odnawialnej w transporcie do 10%.

Mało tego, na konferencji na Bali, dążono do przyjęcia tzw. protokołu post-Kyoto, proponowano zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> rzędu 25-40% [1]. Padła także propozycja, aby szereg szybko rozwijających się krajów, jak Chiny czy Indie były zwolnione z obowiązku ograniczenia emisji gazów [1].

Problem staje się bardziej skomplikowany, bowiem jak zauważyli uczeni, a nie politycy, kraje unijne mają bardzo zróżnicowaną strukturę zużycia paliw i energii. W tym przypadku implementacja pakietu klimatycznego będzie powodować różne skutki ekonomiczne w gospodarkach poszczególnych krajów.

Skutki ekonomiczne będą bowiem zależeć od:

- stanu gospodarki,
- struktury wykorzystywanych źródeł energii w perspektywie do roku 2030,
- wolumenu PKB, poziomu inflacji, szczybla rozwoju gospodarczego.

Przyjęcie proponowanych przez UE limitów emisji dla każdego kraju, bez oceny skutków gospodarczych w ich gospodarkach wygeneruje:

- duże ryzyko wzrostu cen,
- obniżenie wzrostu PKB,
- obniżenie poziomu życia obywateli.

Realizacja tej dyrektywy jest bardzo istotna dla krajów o węglowej strukturze bilansu paliwowo-energetycznego, a takim krajem jest Polska.

Jak wstępnie wyliczono [1, 2]:

- koszty w sektorze energetycznym wzrosną z 4% w 2020 roku do 4,8 % w 2030 roku,
- koszty energii wzrosną docelowo do 2020 roku do około 60%,
- obniżenie dochodów ludności o 11% w okresie do 2030 roku,
- zmniejszenie tempa wzrostu PKB o 0,5%.

Wymaganiem dyrektywy z pakietem klimatycznym  $3 \times 20$  było i jest nadal to, aby każdy kraj się do tego przygotował i podpisał porozumienie, a co szczególnie ważne, zobowiązał się do zrealizowania takiego programu, pod rygorem kary w przypadku nie zrealizowania.

W Ministerstwie Gospodarki została opracowana prognoza zapotrzebowania na paliwa i na energię do 2030 roku. Ta decyzja UE spowodowała, że polski rząd wreszcie zrozumiał, że jest to poważna sprawa i rozpoczął pod przewodnictwem wicepremiera Waldemara Pawlaka prace nad prognozą zapotrzebowania Polski na paliwa i energię w okresie 2010 do 2030 roku z uwzględnieniem wymagań pakietu 3x20. Zakłada ona modernizację energetyki, wycofanie starych bloków węglowych z eksploatacji oraz (optymistyczne) wielkości mocy jakie powinny być uruchamiane w perspektywie 2020 i 2030 roku, wykorzystanie odnawialnych źródeł energii i rozpoczęcie budowy elektrowni jądrowej. I tak [3]:

- Moc zainstalowana na węglu: rok 2020 – 28844MW; 2030 – 27394MW
- Moc zainstalowana na gazie ziemnym: rok 2020 – 1473MW, 2030 – 3330MW
- Moc uzyskana ze źródeł odnawialnych:
  - Wiatr: rok 2020 – 6089MW, 2030 – 7867MW
  - Biomasa stała: rok 2020 – 623MW, 2030 – 1218MW
  - Biogaz: rok 2020 – 802MW, 2030 – 1379MW

Moc z elektrowni jądrowej: rok 2022– 400MW Prognoza nie przewiduje znaczących przyrostów mocy z energetyki wodnej wielkoskalowej i geotermii, natomiast dość szybki (patrzac na stan obecny) wzrost mocy w fotowoltaice (energia słoneczna).

## 2. Negatywny wpływ pakietu 3 × 20 na kondycję polskiej gospodarki

Implementacja pakietu klimatycznego niesie ze sobą wydatki na jego realizację w każdym kraju, który go podjął. Jak wyżej udowodniono, koszty obniżenia emisji CO<sub>2</sub> zostaną nierównomiernie rozłożone na różne państwa. Powstała zatem koncepcja opracowania metodyki i wyliczenia, wskaźników ekonomicznych ukazujących, jaki jest rozkład tych kosztów na wybrane 4 kraje: Polskę, Niemcy, Francję i Austrię.

Dysponując tymi danymi w Prognozie zapotrzebowania na paliwa i energię oraz przyjmując wiele istotnych dla rozważanego problemu założeń, profesor Mielczarski dokonał obliczeń wskaźników obciążających wymienione wyżej kraje. Stanowią one doskonałą ilustrację sytuacji, jaka w gospodarce może wystąpić na skutek podporządkowania się dyrektywie klimatycznej:

- Nakłady inwestycyjne w sektorze energetycznym w okresie 2006 – 2030 wzrosną do około 294 mld zł w porównaniu z 169 mld zł w wariantcie podstawowym („bez polityki klimatycznej”),
- Jeśli zrealizowane zostaną programy zwiększenia efektywności energetycznej nakłady wyniosą odpowiednio: 248 mld zł i 131 mld zł.

Ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> o 20% może spowodować znaczny wzrost cen w gospodarce. Zamieszczone rysunki [1–3] w doskonały sposób ukazują destrukcyjny wpływ redukcji CO<sub>2</sub> dla Polski szczególnie.

Na rysunku 1 przedstawiono procentowy udział kosztów zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub> w dochodzie narodowym różnych państw. Polska jest w niekorzystnej sytuacji, obciążenie dochodu narodowego wynosi 0,63%, dla porównania: Francji – 0,07 %, a Niemiec – 0,37 %. Natomiast na rysunku 2 można zaobserwować, jaki jest procentowy udział kosztów zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub> w kosztach energii w 2030 roku. W Polsce wynosi 48%, w Niemczech 31%,

a we Francji zaledwie 4,0%. Rysunek 3 przedstawia natomiast procentowy udział produkcji energii z węgla w bilansie paliwowo-energetycznym danego kraju. Polska i w tym przypadku zajmuje pierwsze miejsce z 96% udziałem węgla.

### 3. Podsumowanie

1. Sytuacja Polski wygląda bardzo niekorzystnie i jest konsekwencją prowadzonej polityki energetycznej w Polsce, a także zaniedbań w modernizacji energetyki. Zasoby węgla w Polsce są największymi w UE. Zatem wydaje się, że jest to surowiec strategiczny dla Polski i dla Unii Europejskiej.
2. Tymczasem pojawiają się różne opcje i poglądy polityczne o przejściu na gaz ziemny części elektrowni. Zamiast wytwarzać gaz syntezowy z węgla w Polsce, kupuje się gaz po wysokich cenach za granicą. Należy spojrzeć na to z innej strony, co się dzieje gdy kupujemy gaz za granicą, a nie pozyskujemy go w Polsce. To się dzieje, że powodujemy wzrost PKB w innym kraju, zwiększamy ilość miejsc pracy etc., a w Polsce następuje zjawisko odwrotne, wzrastać będzie bezrobocie i nie wzrośnie z tego tytułu PKB.
3. Kolejna sprawa to otwarcie się na odnawialne źródła energii, co można zaobserwować w prognozie zapotrzebowania na paliwa i energię w Polityce Energetycznej Polski do 2030 roku.
4. W okresie najbliższych lat, nawet do 2030 roku, żadnej rewolucji w energetyce nie będzie, jeśli chodzi o energię odnawialną. Polska osiągnie maksymalnie 25 % zużycia energii ze źródeł odnawialnych.
5. Sięga się zatem po atomową energię. Kraj całkowicie wyizolowany z wykorzystania pierwiastków promieniotwórczych dla celów energetyki, zaczyna budować elektrownie jądrowe, przy braku kadry inżynierskiej, technologii, surowca etc. Inne państwa odchodzą od budowy tego typu dużych obiektów, które powinny pracować 60 lat, aby zwrócił się kapitał włożony w budowę.
6. Kolejny problem z dużymi wytwórniami energii to brak procesu uświadamiania społeczeństwa o konieczności budowy takich obiektów. Taką akcją uświadamiającą należy prowadzić na 10 lat przed rozpoczęciem inwestycji, aby uzyskać społeczną akceptację takich inwestycji.
7. Jest jednakże isierka nadziei w rozproszonej generacji energii, która polega na budowaniu wielu obiektów, instalacji wykorzystujących odnawialne źródła energii dostępne lokalnie, blisko odbiorcy (użytkownika), czyste ekologicznie, nie emitujące CO<sub>2</sub>. Są to np. małej mocy instalacje, słoneczne, wiatrowe do zasilania gospodarstw domowych i obiektów użyteczności publicznej oraz zastosowanie instalacji hybrydowych wiatrowo-słonecznych lub innej kombinacji źródeł odnawialnych. Takie rozwiązanie ma wiele zalet i zostało dostrzeżone przez władze, co stało się asumptem do opracowania nowej ustawy o OZE, wprawdzie jeszcze nie zatwierdzonej przez Parlament, ale bardzo odważnej i wspierającej w istotny sposób rozwój właśnie takich rozproszonych instalacji, szczególnie słonecznych i wiatrowo-słonecznych. Wstępne obliczenia wskazują, że w krótkim czasie będzie w Polsce możliwe osiągnięcie 10 – 20% energii zużywanej w ciągu roku z takich właśnie instalacji.
8. Bezpieczeństwo energetyczne Polski wymaga przede wszystkim mądrości politycznej rządzących, którzy powinni dostrzegać te problemy i w uprawianej polityce realizować zasady zrównoważonego rozwoju, a zarazem bezpieczeństwa energetycznego.

9. Stabilizatorem bezpieczeństwa energetycznego Polski powinien być: węgiel, gaz łupkowy w dalszej perspektywie, krajowy gaz ziemny, odnawialne źródła energii wykorzystywane w dużej mocy systemach wielkoskalowych farm wiatrowych i farm słonecznych oraz jako generacja rozproszona w postaci instalacji hybrydowych wiatrowo-słonecznych lub w innych konfiguracjach, o małej i średniej mocy, dedykowanych gospodarstwom domowym jako „prosumentom”, wytwarzającym energię ze źródeł odnawialnych, zużywającym energię na cele własne i sprzedającym nadwyżkę energii elektrycznej do sieci elektroenergetycznej [4]. Nowa ustawa o OZE dopuszcza takie rozwiązania i szczególnie je promuje.

#### 4. Wnioski

1. Polska poniesie największe koszty wprowadzenia pakietu klimatycznego z uwagi na węglową strukturę bilansu paliwowo-energetycznego;
2. Ze względu na duże zróżnicowanie gospodarek krajów UE, szczególnie Europy środkowo-wschodniej, implementacja takich samych zasad i limitów pakietu klimatycznego dla każdego kraju jest niesprawiedliwa;
3. Każdy powinien ponosić koszty eliminacji szkód w środowisku przyrodniczym, ale to obciążenie nie może zachwiać równowagi gospodarczej danego kraju. W takim przypadku ochrona środowiska stałaby w sprzeczności z zasadami bezpieczeństwa energetycznego i zrównoważonego rozwoju;
4. Polska powinna wynegocjować najkorzystniejsze warunki realizacji dyrektywy z uwagi na wyjątkowo niekorzystną sytuację w strukturze zużywanych nośników energii;
5. W celu określenia dopuszczalnej wielkości obciążenia danego kraju limitami i ograniczeniami Pakietu można wykorzystać metodykę wyznaczania efektu ekologicznego i efektu ekonomicznego przedstawionego m.in. w [5] i przeprowadzić optymalizację według kryterium maksymalizującego sumę tych efektów.

#### Literatura

- [1] Mielczarski W., *Kto poniesie koszty redukcji emisji CO<sub>2</sub>*, Politechnika Łódzka, European Energy Institute (<http://www.odpowiedzialna-energia.pl/oenergia/9524/18329>).
- [2] Mielczarski W., *OZE potrzebują zmian*, Polskie Towarzystwo Wspierania Przedsiębiorczości 1997–2012 ([www.wnp.pl](http://www.wnp.pl)).
- [3] *Polityka energetyczna Polski do 2030 roku*, Ministerstwo Gospodarki,
- [4] Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z dnia 10 listopada 2009 r.
- [5] Materiały seminarium w Katedrze Ekonomiki i Zarządzania w Przemysle, AGH, Kraków 2012.
- [6] Solińska M., *Ocena ekonomicznej efektywności wykorzystania energii odnawialnej z uwzględnieniem efektu ekologicznego*, praca doktorska, Akademia Ekonomiczna, Katowice 2002.

## SPIS TREŚCI

Herzog M.: <i>Aproksymacja funkcji dwóch zmiennych z wykładniczych przestrzeni wagowych</i> .....	3
Pudełko J.: <i>Rodzina testów zgodności z rozkładem Cauchy'ego</i> .....	11
Duraj M.: <i>Magnetyczne diagramy fazowe związków <math>R_{1-x}R'_xMn_2(Ge, Si)_2</math></i> .....	27
Nosidlak N., Jaglarz J.: <i>Analiza kolorymetryczna składu farb akrylowych przy użyciu kuli integrującej</i> .....	41
Białas J.: <i>Sprawność przesyłania danych w pierścieniowych lokalnych sieciach komputerowych</i> .....	51
Gąciarz T., Czajkowski K.: <i>Wpływ metody selekcji słów kluczowych na skuteczność klasyfikacji stron internetowych z wykorzystaniem algorytmu boostingu</i> .....	61
Jarosz T.: <i>Problematyka analizy danych w magistrali CAN w pojazdach samochodowych</i> .....	75
Klamra M.: <i>Podstawowe idee próbkowania oszczędnego</i> .....	85
Ulman K., Rzecki K.: <i>Algorytm wykrywania treści na stronach portali internetowych</i> .....	101
Biernacki M., Rzecki K.: <i>Urządzenie do zdalnej administracji serwerem</i> .....	111
Zabawa P., Klęk P.: <i>Półautomatyczne estymowanie pracochłonności projektów sterowane regułami biznesowymi</i> .....	125
Zaczek J.M.: <i>Ewolucja zagrożeń sieciowych motorem ewolucji sieciowych systemów bezpieczeństwa</i> .....	145
Solińska M.: <i>Aspekty bezpieczeństwa energetycznego w świetle pakietu klimatycznego 3×20</i> .....	159

## CONTENTS

Herzog M.: <i>Approximation of functions of two variables from exponential weight spaces</i> ...3	
Pudełko J.: <i>A family of goodness-of-fit tests for the Cauchy distribution</i> ..... 11	
Duraj M.: <i>Magnetic phase diagrams of the <math>R_{1-x}R'_xMn_2(Ge, Si)_2</math> system</i> .....27	
Nosidlak N., Jaglarz J.: <i>Colorimetric analysis of acrylic paints composition using an integrating sphere</i> ..... 41	
Białas J.: <i>Data transfer efficiency in local area ring networks</i> ..... 51	
Gąciarz T., Czajkowski K.: <i>The influence of the keywords selection method on the effectiveness of the web pages classification using the boosting algorithm</i> ..... 61	
Jarosz T.: <i>The issue of data analysis on the CAN automotive vehicles</i> ..... 75	
Klamra M.: <i>Fundamental concepts of compressed sensing</i> ..... 85	
Ulman K., Rzecki K.: <i>Detection algorithm for content on Internet web portals</i> ..... 101	
Biernacki M., Rzecki K.: <i>Remote server administration device</i> ..... 111	
Zabawa P., Klęk P.: <i>Business rules-driven semi-automatic project effort estimation</i> .. 125	
Zaczek J.M.: <i>Network security improvement driven by threats evolution</i> ..... 145	
Solińska M.: <i>Energy security aspects in the context of the climate change package 3×20</i> ..... 159	