

# **Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce**

## **Przegląd badań**



[www.mlodzinaukowcy.com](http://www.mlodzinaukowcy.com)

Poznań 2023

**Redakcja naukowa**

dr Jędrzej Nyckowiak

dr hab. Jacek Leśny, prof. UPWR

**Wydawca**

Młodzi Naukowcy

[www.mlodzinaukowcy.com](http://www.mlodzinaukowcy.com)

[wydawnictwo@mlodzinaukowcy.com](mailto:wydawnictwo@mlodzinaukowcy.com)

**ISBN (całość 978-83-66743-87-8)**

**ISBN (wydanie online 978-83-66743-95-3)**

**ISBN (wydanie drukowane 978-83-66743-96-0)**

Data wydania: maj 2023

Niniejsza pozycja jest monografią naukową. Jej rozdziały zostały wydrukowane zgodnie z przesłanymi tekstami po ich zaakceptowaniu przez recenzentów. Odpowiedzialność za zgodne z prawem wykorzystanie użytych materiałów ponoszą autorzy poszczególnych rozdziałów.

**Spis treści**

<b>1. The LIFE IS A JOURNEY Metaphor in Gītāñjali: Philosophical Concepts in Transcreation</b>	<b>7</b>
<i>Joanna Tuczyńska</i>	
<b>2. Zarządzanie konfliktem interesariuszy instrumentami psychologii społecznej</b>	<b>15</b>
<i>Czesław Fliśnik</i>	
<b>3. Hipnoza w leczeniu bólu. Przegląd badań.</b>	<b>23</b>
<i>Agnieszka Śliwińska</i>	
<b>4. Filmowa historia, która tworzy mit</b>	<b>29</b>
<i>Wioleta Górską-Sierońska</i>	
<b>5. Rugia w sieciach handlu hanzeatyckiego w XIII wieku</b>	<b>35</b>
<i>Tymoteusz Lis</i>	
<b>6. Numeryczna symulacja zginania polimerowych kompozytów warstwowych wzmocnionych włóknami szklanymi i węglowymi</b>	<b>41</b>
<i>Jodłowiec Tomasz, Marszałek Jerzy</i>	
<b>7. Oznaczanie pierwiastków w pojedynczych komórkach z wykorzystaniem spektrometrii mas z jonizacją w plazmie sprężonej indukcyjnie</b>	<b>49</b>
<i>Kowa Ewelina, Telk Anna, Wieczorek Marcin</i>	
<b>8. Architektoniczne rozwiązania projektowe wpływające na poczucie bezpieczeństwa w domach jednorodzinnych alternatywą dla systemów Smart Home</b>	<b>57</b>
<i>Sebastian Łabędź</i>	
<b>9. Analiza wydychanego powietrza pod kątem diagnostycznym z wykorzystaniem mikroekstrakcji do fazy stałej i chromatografii gazowej sprężonej ze spektrometrią mas</b>	<b>65</b>
<i>Marcelina Rusin, Aneta Woźniakiewicz, Justyna Dobrowolska-Iwanek, Michał Woźniakiewicz</i>	
<b>10. Doświadczalne badanie wytrzymałości na rozciąganie przędzy lnianej zaimpregnowanej żywicą epoksydową</b>	<b>73</b>
<i>Serafin Patryk, Marszałek Jerzy</i>	

## Przegląd badań

Przedmowa

Szanowni Państwo, wydawnictwo „Młodzi Naukowcy” oddaje do rąk czytelnika kolekcję monografii naukowych dotyczących szerokiego spektrum nauk. Znajdują się tutaj pozycje dotyczące nauk medycznych i nauk o zdrowiu, nauk przyrodniczych, technicznych i inżynierskich oraz szeroko pojętych nauk humanistycznych i społecznych.

W prezentowanych monografiach poruszany jest bardzo szeroki przekrój zagadnień, jednak każda z osobna składa się z kilkunastu rozdziałów, spójnych tematycznie, dających jednocześnie bardzo dobry przegląd tematyki naukowej jaką zajmują się studenci studiów doktoranckich lub ich najmłodsi absolwenci, którzy uzyskali już stopień doktora.

Czytelnikom życzymy wielu przemyśleń związanych z tematyką zaprezentowanych prac. Uważamy, że doktoranci i młodzi badacze z pasją i bardzo profesjonalnie podchodzą do swojej pracy, a doświadczenie jakie nabierają publikując prace w monografiach wydawnictwa „Młodzi Naukowcy”, pozwoli im udoskonalać swój warsztat pracy. Dzięki temu, z pewnością wielu autorów niniejszych prac, z czasem zaczną publikować prace naukowe w prestiżowych czasopismach. Przyczyni się to zarówno do rozwoju nauki, jak i każdego autora, budując jego potencjał naukowy i osobisty.

*Redakcja*

## Przegląd badań

# 1. The LIFE IS A JOURNEY Metaphor in *Gītāñjali*: Philosophical Concepts in Transcreation

Joanna Tuczyńska

Faculty of Oriental Studies, University of Warsaw

Tuczyńska Joanna: j.tuczynska@uw.edu.pl

Supervisor: prof. dr hab. Joanna Jurewicz

Assistant Supervisor: Minakshi Sinha PhD (Tagore Studies, Rabīndra Bhāratī University, Calcutta)

**Keywords:** *viraha*, *māyā*, circular movement, inward direction

## Abstract

LIFE IS A JOURNEY is a recurrent conceptual metaphor in Rabindranath Tagore's *Gītāñjali* which has an enormous impact on the transcreation of the message as well as the recreation of emotions and the aesthetic dimension of the source text in the distant culture of the West. The concepts of *viraha* and *māyā* related to the *Advaita Vedānta* philosophy constitute a challenge in translation as they do not exist in the target culture and convey a vague message to potential non-Indian audiences. Considering this fact, the poet adapts the metaphorical context based on Hindu philosophy to the European conceptual realm in order to create intelligible and coherent content. Consequently, the circular movement of *saṃsāra* receives a more linear direction and the notion of *māyā*, referring to the illusory division between the inner and the outer reality, is expressed through orientational metaphors consistent with the target culture. In *Gītāñjali* the LIFE IS A JOURNEY metaphor, *Jīban yātrā*, expresses the human quest for reunion with the Primeval Cause of all existence which means overcoming the deceptive force of *māyā*.

## 1. Introduction

Rabindranath Tagore as a self-translator implements the ancient Indian concept of translation derived from the Sanskrit tradition and based on the conviction that poetry cannot be truly translated but can only be, or even should be transcreated in another language. (Spinzi 2018, 4) He uses his talent and imagination as well as his own comprehension of the target culture in order to translate creatively his own poems from a distant philosophical tradition into the English language, thus creating a more 'Europeanized', worldwide known version of *Gītāñjali*.<sup>1</sup> He intuitively overcomes the problem of translating cultures addressed by researchers many years after his death. (Dasgupta 2012, 141)

The transcreation of metaphor and meaning in another culture becomes the essence of Tagore's endeavours in the English version of *Gītāñjali*. Mutual understading between different cultures can only be achieved through negotiating meaning. (Lakoff 1980, 231) Hence, the equivalence of cross-cultural conceptual metaphors with reference to philosophical concepts is the foundation for the following analysis.

## 2. Discussion

Viraha, Māyā and Advaita Vedānta in metaphors

Rabindranath Tagore's concept of the journey of life essentially means a quest for God, which is a consequence of *viraha*<sup>2</sup>, separation from the Primeval Father resulting in a longing for reunion

---

<sup>1</sup> The English *Gītāñjali* is a transcreation of the selected poems from the Bengali *Gītāñjali* as well as from *Gītimālya*, *Naibedyā*, *Kheyā* and other Bengali collections of poetry.

<sup>2</sup> *Viraha* (Sanskrit), *biraha* (Bengali) is linked to the symbolism of Kṛṣṇa and Rādhā whose relationship has the aspect of *svakiya-rāsa*, marriage, and *parakiya-rāsa*, transcendental love where Rādhā symbolizes the human soul and Kṛṣṇa is the incarnation of Viṣṇu. (Prabhupada 2008)

with the First Cause of all existence. The notion of *viraha* is a complex phenomenon that originates from the act of creation when the finite human body is separated from the Creator to exist as an individual.<sup>1</sup> This causes *māyā* (illusion) because man begins to perceive reality as dual, departing from the truth expressed by *Advaita Vedānta*<sup>2</sup>, and consequently sinks into the darkness of *avidyā* (ignorance), which inevitably builds the tension of constantly drawing closer to God and drifting away from him. To build this tension in *Gītāñjali*, Tagore employs the conceptual metaphor LIFE IS A JOURNEY which comprises in its schematic structure the metaphorical concept of a life path and man as a traveller.

The metaphor LIFE IS A JOURNEY is realized in the Bengali metaphor *Jīban yātrā*<sup>3</sup> and has a particular contextual meaning in *Gītāñjali*, as it is fulfilled in the aspect of the human quest for the Creator. The theme of life's journey as a constant search for God is omnipresent in Hindu philosophy and literature, however, it is not commonly present in the European conceptual realm, where although the metaphor LIFE IS A JOURNEY is perfectly understood, it carries different connotations. This culturally shared metaphor, in the Indian tradition proves to be linked to many complex philosophical concepts that constitute an integral conceptual sphere in Tagore's poetry.

The Upaniṣadic pantheism with its philosophical structure reflected in Tagore's poetry has no equivalent in Western culture. Therefore, the poet transcreates the conceptual context of Bengali metaphors in order to bring the English-speaking audience closer to the aesthetics and emotionality of the message. The attempt to reconcile the dualistic Christian vision of the world with the non-dual Hindu ideal permeates the process of transcreation of *Gītāñjali* in many aspects. In the last stanza of Poem 39, Tagore endeavours to convey a pantheistic concept of reality in the awaited coming of God:

*Āchi pābār āśā niye, tāre  
hay ni āmār pāoyā.* (Ṭhākur 2003, 39)

Tagore does not use the word *grahan*, which is common in the context of hospitable welcome but the word *pāoyā* which has a more general meaning and refers to the idea of 'getting.' This allows for a more complex understanding as God can be received not only as a person in a warm welcome but man can receive the Creator through his manifestations, which is a recurrent theme in *Gītāñjali*. This complex meaning is transcreated in English into a much more direct meaning of meeting a personal God:

'I live in the hope of meeting with him; but this meeting is not yet.'  
(Tagore 2011, XIII)

The Bengali original depicts God whose arrival is symbolically announced in the sound of his feet, *pāyer dhanikhāni*, where *dhanī*, 'sound' is not bound by physical form and echoes the Upaniṣadic idea of a formless creative force identified with the real *Brahman*.<sup>4</sup> This concept is transformed in the English translation just into 'footsteps':

*Kebal śuni kṣaṇe kṣaṇe tāhār pāyer dhanikhāni.* (39)

'only I have heard his gentle footsteps (...)' (XIII)

Thus, the Creator identified with the sound through which he reveals himself, is depicted as a personal deity stepping into human life. This is another case in which the Upaniṣadic pantheism of

---

<sup>1</sup> See: *āpnāri biraha tomār āmāy nil kāyā* (*Gītimālya* 15), 'This thy self-separation has taken body in me.' (*Gītāñjali* LXXI)

<sup>2</sup> *Advaita Vedānta*, the philosophical school of thought teaching nonduality and perceiving *Brahman* as the only reality. See: (Sharma, 2004).

<sup>3</sup> The theme is present also in the Bāul tradition. Tagore was enchanted by the musical and poetic expression of the Bāuls. He employed some imagery from their songs, however, the philosophical concepts of his writing are deeply rooted in the diversity of the Indian tradition, which also influenced the Bāuls. (See: Stephen 2010, 123-130)

<sup>4</sup> See: *The Māitrī Upaniṣad VI.3-6*.



Tagore's Bengali poems receives a new meaning in the European conceptual reality. The indirect allusion to the human attributes of the Creator, which in the Bengali original is a matter of personification, becomes a direct comprehension of God as a person, which immediately evokes the image of Christ in the mind of the European recipient and which is no longer personification but a matter of religious belief.

The human quest for reunion with God which evolves from *Jiban yātrā* is related to the concept of love. The journey of love is an inherent component of the quest in which two lovers, God and man, sometimes meet and sometimes are apart, which originates from *māyā*, affecting human perception and resulting in constant tension. In the transcreation of *Gītāñjali*, Tagore builds into the conceptual structure of the metaphor JOURNEY OF LOVE the metaphorical concept of God as a wayfarer<sup>1</sup>, the Creator on his journey as a dispenser of love. These two journeys happen parallelly as God's journey of love is the substance of human life's journey, his arrival is the moment of *satya* (truth) and his departure results in *māyā*:

*Āji jharer rāte tomār abhisār,  
parānsakhā bandhu he āmār.* (20)

'Are thou abroad on this stormy night on thy journey of love,  
my friend?' (XXIII)

Surprisingly, the cross-cultural JOURNEY OF LOVE metaphor does not appear in the Bengali original at a linguistic level as *Premar yātrā* but as *abhisār*, which primarily means 'appointment of lovers', 'a love tryst' but not the general notion of love as a journey that involves stages and changes. Therefore, there is no concept of *Premar yātrā* in the source text that would be equivalent to the European conceptual metaphor LOVE IS A JOURNEY. Tagore transcreates the entire passage employing a metaphorical concept that functions differently in Western culture. In the mind of the European audience the stormy night in the context of a journey of love evokes inevitably an image of a passionate love affair full of violent events and obstacles between two lovers rather than an image of God. Christian ethics does not allow people to think about God as a lover, close friend or a playmate, while, in Hinduism it is a way in which *Kṛṣṇa* is commonly presented being unique in this context due to his deeply symbolic relationship with *Rādhā*. He is a deity who can be envisaged by anyone as their lover, friend, companion or playmate. Although, Tagore implies the Immanent *Brahman*, the Creator, the metaphorical realm of *Gītāñjali* is related to Lord *Kṛṣṇa* in the symbolism of flute and *viraha*. The concept of love, thus, evokes the notion of *viraha* which the poet employs to intensify the tension between man, a lover or man seeking love and the object of his love which is God understood as the receiver and dispenser of love.

Moreover, the English word 'friend' here replaces the complex metaphorical phrase *parānsakhā bandhu*, where the phrase *parānsakhā* comprises of *parān*, being the poetic version of *prāṇa* (breath, life, soul) and *sakhā* (branch, limb), whereas *bandhu* is a common word for 'a friend'. The metaphorical complex expression 'a friend as a limb/branch of life/soul' is thus translated into the straightforward meaning of the word 'friend'.

The notion of *viraha* in the context of God and 'love tryst' evolves in the English *Gītāñjali* into the HIDE AND SEEK AS GOD'S PLAY metaphor<sup>2</sup>, receiving a new meaning in reference to the Hindu concept of *māyā*, in which the Creator seems to appear and disappear before human eyes. The poet visualizes this process in the following passage:

*Tomār āmār yāoyā-āsāy  
kāṭe sakal belā.* (Ṭhākur 1914, 15)

'(...) and all ages pass with the hiding and seeking of thee and me.' (LXXI)

<sup>1</sup> See also: Bengali *Gītāñjali* 18, English *Gītāñjali* XXII.

<sup>2</sup> See: *The Īsa Upaniṣad* 4,5.

In the Bengali source text the poet uses the phrase *yāoyā āsāy* for 'hiding and seeking' which refers to 'going and coming.' The text is narrated from the perspective of a person affected by *māyā*, as the poet depicts the Creator appearing and disappearing before human eyes, which metaphorically represents human ability and inability to see the truth.

*Samsāra* and a circular movement.

Another challenge to transcreation posed by the conceptual metaphor LIFE IS A JOURNEY in *Gītāñjali* stems from the fact that it is determined by the circular movement of *samsāra* rather than the linear cycle of life and death commonly recognized in the Christian tradition, in which there is no concept of rebirth in another physical form. This circular orientation gives the impression of no beginning and no end, as if life merged with death, and death melted with life, which evokes the concept of infinity and immortality. Tagore is convinced of the syncretic nature of life and death and their homogeneous character. (Tagore 1915, 25)

In the European Christian tradition, in which Heaven, Hell and the afterlife are nothing comparable to Hindu *samsāra*, there is no concept of returning in physical form to earth. Hence, undeniably the circular orientation of *Jīban yātrā* creates a different contextual perspective than the linear European path of life and death. Moreover, Tagore employs a dance move motif to depict the wheel of *samsāra* when he says:

*Sei yugayugānter birāṭ spandan  
āmār nārīte āji kariche nartan.* (Thākur 1976, 26)

'And my pride is from the life-throb of ages dancing in my blood  
this moment. ' (LXIX)

In transcreation, the poet retains the dancing circular movement, yet he creates a different metaphorical image. The Bengali language again offers more complex semantics, as *spandan* in addition to the meaning 'beating, throbbing, pulsebeat' also means 'vibration' which connotes the frequency of the universe, thus alluding to the *microcosm-macrocosm* analogy, in which the human organism is equal to the cosmic organism. Moreover, *nārī* means not only 'artery, pulse' but also 'umbilical cord', and even 'uterus' and 'placenta', which correlates with the idea of creation and birth, which however, is transcreated in English simply as 'blood'. Tagore employs the metaphorical concept of blood in English to express the idea of the current of life with its dynamism. Yet, in the process of transcreation, he as if abandons the whole semantic realm of *nārī* which at a deeper level, as an umbilical cord, has been considered since the Vedic tradition to be a link between man and the Cosmos.<sup>1</sup>(Johari 2000)

Furthermore, the idea of the wheel of time is also expressed in the phrase: *yugayugānta*, meaning 'yuga' (era) and 'yuga' combined with *anta* (end), 'the end of an era' which conveys the meaning of 'an era after an era' (from '[the beginning of] an era to the end of an era and on') where the end meets and melts with another beginning. The English 'ages' carry a rather plain, flat and linear meaning in comparison to the vast concept of the phrase *yugayugānta*. Thus, another metaphorical concept rooted in Indian culture is completely transformed in transcreation by means of the notion of age as a measure of time. Although the concept of dance in the context of the poem can be interpreted by the European reader as the pulsatile rhythm of the heart, in the Indian tradition it has a deeper philosophical meaning. This complex concept is reflected in *Tāṇḍava natyam*, Śiva's dance, in the fiery circles of *samsāra*, which refers to Śiva's meditative aspect as a yogin where the inward direction signifies the search for the inner truth and the Divine within oneself.

---

<sup>1</sup> The navel symbolism can be traced back to the *Rgveda*, which Tagore read in the Sanskrit original. See: 'the navel of the sky' in the *Rgveda* 9.12.4. (Arya, Joshi)

The Ultimate Truth and the inward direction.

Thus, the circular orientation of the LIFE IS A JOURNEY metaphor in *Gītāñjali* reveals another dimension, which is the inward movement into the innermost self. It is not a backward linear movement but a direction that leads man forward, towards the deepest truth. It is a return in which the departure is also the destination, where the beginning and the end meet to create a whole. Man comes full circle to rediscover what he always had but what he was not aware of due to *māyā*, mainly that his Creator with all infinity is realized within himself, as 'in that everlasting abode of the *Ātmān*, the soul, the revelation of the *Paramātmān*, the supreme soul, is already complete.' (Tagore 1915, 191) The poet expresses this philosophical truth in *Gītāmālya* Poem 14 where he builds a metaphorical image of man, a traveller returning to his own place:

*Parer dbāre phire, śeṣe*  
*āse pathik āpan deśe-*  
*bāhir-bhuban ghure mele*  
*antarer thākur.* (Thākur 2003, 14)

The poet again transcreates metaphorical expressions referring to Indian philosophical concepts into metaphorical images comprehensible to the European audience:

'The traveller has to knock at every alien door to come to his own,  
and one has to wander through all the other worlds to reach the innermost  
shrine at the end.' (XII)

The Bengali original contains the phrase *bāhir-bhuban* meaning 'the outer world' which is of great significance in the context of *viraha* and *māyā*. Moreover, the poet builds the phrase *antarer thākur* meaning 'the lord of the heart'<sup>1</sup> where *antar* means 'heart'. This deeply philosophical notion is translated creatively as 'the innermost shrine' which not necessarily evokes the inner realm of the human heart.

Moreover, the word 'reach' replacing the Bengali *melā* (unite), although consistent with the LIFE IS A JOURNEY metaphor, seems more detached when referring to the pantheistic Upaniṣadic concept of man's union with his Creator. Thus, the whole realm of Indian philosophical contextual meaning is completely reformulated in transcreation. The very division between the outer and the inner reality is derived from the idea that *māyā* affects the external world whereas *satya* is contained in the inner self of a human being. Tagore expresses this idea in *Gītāñjali* Poem 20:

*Bāhire kichu dekhite nāhi pāi,*  
*tomār path kothāy bhābi tāi.* (20)

The poet directly expresses his confusion, saying that he cannot see the path, thus he does not know where to meet God whom he is awaiting:

'I can see nothing before me. I wonder where lies thy path!' (XXIII)

The Bengali *bāhire* (outside) is transformed into the English 'before.' This is an example how the orientational metaphorical concepts are differently perceived in a cultural context. In the case of Tagore's poem the cultural challenge is even more profound as the outward-inward orientation refers directly to the outer and the inner reality, to the concepts of *māyā* and *satya*. Thus, again Tagore transcreates the original metaphor adapting it to the conceptual realm of the target culture.

---

<sup>1</sup> *antarer thākur* is also the echo of the *maner mānuṣ* of the Bāul tradition.

This inward direction having a circular motion in itself, mirrors the orbital cosmic path of the sun with its sunsets and sunrises, which symbolizes constant rebirth on the horizon of eternity.<sup>1</sup> Through the circular movement of *samsāra* inevitably the end and the beginning come together to form an inseparable whole, hence, the departure in the concept of a journey proves finally to be its destination. The cosmic imagery of *samsāra* connotes the ocean in which the sense of life's journey is to be fulfilled, 'in the ocean-cradle of birth and death.' (LXIX), *janmamṛtyu-samudra-dolāy* (Ṭhākura 1976, 26). Tagore writes in *Gītāñjali Poem 47*:

Rūpasāgare ḍuba diyechi  
arūpa ratna āśā kari;  
ghāṭe ghāṭe ghurba nā āra  
bhāsiye āmār jīṇa tarī. (47)

I dive down into the depth of the ocean of forms, hoping to gain  
the perfect pearl of the formless.  
No more sailing from harbour to harbour with this my weather-beaten boat.(C)

*Tagore transcreates arūpa ratna, 'a formless gem' into 'the perfect pearl of the formless', where the formless is a reference to the unmanifested Brahman as opposed to the formed and manifested. (The Bṛhad-āraṇyaka Upaniṣad II.3) 'The perfect pearl', an English interpretation of ratna, corresponding to inner wisdom and hidden truth, in Tagore's poetry is additionally associated with the depth of the infinite ocean representing the formless Absolute.<sup>2</sup> Although, in the European tradition, the pearl refers mostly to the ideal of beauty, royalty and sometimes purity, the concept of 'pearls of wisdom' exists in English, thus the metaphor PEARL AS THE EPITOME OF WISDOM/PERFECTION is cross-cultural. Nevertheless, 'the pearl of the formless' may sound oxymoronic to the Western audience and seem to be a mere metaphorical literary expression if deprived of its philosophical context. In transcreation, Tagore endeavours to convey the depth of the original metaphor, despite the fact that the Hindu philosophical background may remain unrecognized by the audience.*

*Moreover, the onomatopoeic phrase ghāṭe ghāṭe ghurba enhancing the feeling of a monotonous repetitive journey is completely transformed in transcreation not only due to differences at a linguistic level but also in the semantic aspect. Ghāṭ being a complex cultural idiom is a clear reference to the river in the Indian tradition and in the context of life's journey it evokes the Upaniṣadic river-ocean metaphor, in which the river represents the embodied existence of Jīvātmān (individual soul and self) and the ocean signifies the universal unbodyed Paramātmān (eternal bodiless Soul and Self). (The Chāndōgya Upaniṣad VI.10.1-3) At a linguistic level, in the imagery of life's journey, Tagore employs dominantly metaphorical expressions related to the ocean, such as waves, tides, ebbs. However, as the poet approaches the end of his life's journey, expressions referring to the river such as ghāṭ begin to appear more intensely in the Bengali original in reference to the Upaniṣadic concept of merging individual existence with the Infinite Brahman. In the English text though, the profound philosophical concept contained in the cosmic river-ocean metaphor of Gītāñjali Poem 47 is transformed by Tagore into the imagery of 'harbour' which replaces ghāṭ and retains only the metaphorical realm related to the sea.*

The inward circular movement receives its cosmic dimension realizing the concept of the innermost truth, which is the Heart of Brahman within the human heart. This is so because this cosmic infinite ocean is not in the outer world of māyā but in its shoreless, bottomless and endless dimension, it is within the human heart of satya. The Upaniṣads teach that the Cosmic Self that man finally attains is his own self dwelling within himself, as the Self of Brahman is inherent in the human self: *Esa tā ātmā sarvāntarāḥ* (The Bṛhad-āraṇyaka Upaniṣad III.4.1), 'he is your self which is in all things.' (Radhakrishnan) *Ātmān* must finally 'return' to Brahman and merge with him, like a river flows into the infinite ocean of the formless. There is a concept of *nirvāṇa* in the ultimate destination of life's

---

<sup>1</sup> See: *Hṛdaya gagane* in *Gītāñjali* 132 transcreated into 'on the horizon of my heart' (CI)

<sup>2</sup> According to the Hindu mythology, Kṛṣṇa found the first pearl in the depth of the ocean.

journey that overcomes the whirling wheel of *saṃsāra*, thus reaching the innermost Heart of the formless infinity of the Absolute.

### 3. Conclusion

The conceptual metaphor LIFE IS A JOURNEY builds the foundation of the semantic structure of the metaphorical realm of Rabindranath Tagore's *Gītāñjali*. At the deepest level, it refers to the essential philosophical Hindu notions which are the basis of his poetic imagery. Tagore metaphorically incorporates the concepts of *viraha* and *māyā* at the background of the philosophy of *Advaita Vedānta* and the Upaniṣadic pantheism as a result of which the cross-cultural conceptual metaphor LIFE IS A JOURNEY evolves into the LIFE IS A QUEST FOR REUNION WITH GOD metaphor which gives *Jīban yātrā*, a unique dimension in *Gītāñjali*. Moreover, the poet relates the JOURNEY OF LOVE metaphor to the LIFE IS A JOURNEY metaphor and incorporates the metaphorical concept of God as a wayfarer into its structure. Consequently, he employs the HIDE AND SEEK AS GOD'S PLAY metaphor, in which the Creator, 'going and coming', disappearing and appearing, reflects the human mind overpowered by *māyā*.

On cultural grounds, the LIFE IS A JOURNEY metaphor constitutes a great challenge to the translation process of *Gītāñjali*, which inevitably results in the transcreation of the poems, not only in terms of form but also in respect to the whole conceptual structure. Tagore adapts Bengali metaphorical expressions and imagery based on Hindu philosophical concepts to the expectations of the European audience. He transforms the Bengali content into culturally recognizable and intelligible metaphorical images and phrases which although often distant from Indian philosophy, still convey similar aesthetic and emotional value, creating a coherent semantic whole in English.

### 4. Bibliography

- Arya R, Joshi K (2022) Trans. Ṛgveda Sanhitā.  
Dasgupta (2012) Tagore's Concept of Translation: A Critical Study: 141.  
Johari H (2000) Chakras. Energy Centers of Transformation: 4.  
Lakoff G, Johnson M (1980) Metaphors We Live By: 231.  
Spinzi C, Rizzo A, Zummo M (2018) Translation or Transcreation: 4.  
Sharma A (2004) Advaita Vedanta: An Introduction.  
Stephen S (2010) The Sky of Indian History. Themes and Thought of Rabindranath Tagore, 123-130.  
Prabhupāda A (2008) Kṛṣṇa, The Supreme Personality of Godhead: 206.  
Radhakrishnan S (2011) Ed. and trans. The Principal Upaniṣads: 220.  
Tagore R (2011) Gitanjali. Song Offerings: XII, XIII, XXII, XXIII, LXIX, LXXI, C, CI.  
Tagore R (1915) Sādhana: 25, 191.  
Ṭhākura R (2003) Gītāñjali: 18, 20, 39, 47, 132.  
Ṭhākura R (1914) Gītimālyā: 14, 15.  
Ṭhākura R (1976) Naibedyā: 26.

## Przegląd badań

## **2. Zarządzanie konfliktem interesariuszy instrumentami psychologii społecznej**

Managing stakeholder conflicts with instruments of social psychology

Czesław Fliśnik

Akademia WSB w Dąbrowie Górniczej - Wydział Nauk Stosowanych

Czesław Fliśnik: czflisnik@gmail.com

**Słowa kluczowe:** stosunki interpersonalne, komunikacja, organizacja, management

### **Streszczenie**

W artykule przeglądowym autor odnosi się do tematu oraz problemu będącego przedmiotem analizy w zakresie występujących zjawisk konfliktu interesów różnych grup interesariuszy<sup>1</sup> na tle psychologii społecznej. Według obserwacji autorskich poprzez pryzmat psychologii konfliktu, można wnioskować, że rola psychiki człowieka jest bardzo ważnym elementem w relacjach międzyludzkich, zarówno w małych, jak i większych ich skupiskach, a szczególnie w przypadku zróżnicowanych organizacji społecznych. W tych okolicznościach, istotne znaczenie odgrywają umiejętności miękkie, które odpowiadają za korelację z wywieraniem wpływu, autoprezentacji, negocjowaniem i rozwiązywaniem konfliktów interesariuszy. Z autorskiego punktu widzenia, zarządzanie konfliktem odnosi się do szeregu działań, których nadrzędnym zadaniem jest w pierwszej **kolejności** eliminacja oraz redukcja, a w końcowym efekcie wyciszenie konfliktu. Ważnym krokiem w działaniach psychologicznych będzie też ukierunkowanie problemu oraz ewentualnych skutków na konwersję w pozytywne zachowania prowadzące do twórczych implikacji. Zgodnie z przekazem literatury, konflikty występujące w zbiorowościach ludzkich są naturalnym stanem zachowań społecznych. Zatem całkowite ich wyeliminowanie jest niewykonalne, a nawet społecznie niewskazane. Z praktyki wynika, że istotnym dezyderatem jest, postulat aby w każdym środowisku, w którym pojawia się problem konfliktu, szybko kontrowersje zdefiniować i w miarę możliwości skutecznie zneutralizować szkodliwe źródło konfliktu oraz precyzyjnie wyodrębnić możliwe korzyści, jakie mogą wystąpić w przedmiotowej sytuacji konfliktowej.

### **1. Wstęp**

Opracowanie w formie przeglądowej stanowi syntezę definicji, teorii i zagadnień naukowych z zakresu psychologii społecznej w obszarze korelacji występujących zjawisk konfliktu różnych interesariuszy, która opatrzona została analizą autora na bazie naukowej literatury oraz badania zachowań organizacji społecznych. Pomimo znacznego wzrostu liczby publikacji poświęconych psychologii społecznej, niniejszy artykuł uwzględnia tematykę zarówno w ogólnym zakresie psychologii społecznej, jak i wybranych jej obszarów tj. psychologii komunikacji oraz zarządzania konfliktem interpersonalnym.

Artykuł w finalnym etapie obrazuje zagadnienia występujące w postaci zjawisk społecznych na styku konfliktu interpersonalnego w psychologii społecznej. Treść opracowania podzielono na odrębne tematy, w których poruszono zakres ogólnej psychologii społecznej oraz zjawiska konfliktu interpersonalnego. Artykuł składa się z treści, w których zamieszczono badanie literatury, definicje stosowane w zarządzaniu konfliktem, poziomy i fazy konfliktu oraz cechy syndromów konfliktowych. W posumowaniu przedstawiono wyniki i poglądy analityczne oraz autorskie spostrzeżenia i wnioski zakończone konkluzjami.

---

<sup>1</sup>Wg R. Freemana interesariusze stanowią organizacje lub osoby indywidualne, które uczestniczą w tworzeniu zamierzenia.

## 2. Charakterystyka zjawiska konfliktu

### 2.1 Zjawisko konfliktu w literaturze

Konflikt w relacjach społecznych jest przedmiotem wielu badań, a w literaturze naukowej zajmuje istotne miejsce. Podstawą opisanych konfliktów przedstawianych w pracach autorskich były rzeczywiste spory, jakie miały miejsce pomiędzy osobami i grupami społecznymi różnych okresów, które następując chronologicznie po sobie, nakładały się na siebie, wzbogacając o kolejne nowe doświadczenia (Słaboń 2008). W literaturze podejmowano wiele prób w zakresie zdefiniowania tego zjawiska. Można zaznaczyć, że konflikty z reguły są odbierane jako zaburzenie lub dysfunkcja w relacjach stosunków międzyludzkich. Spotyka się definicje określające konflikt jako proces, w którym jedna jego strona percypuje, że na jej interesy negatywnie wpływa druga strona (Coleman 2005).

W literaturze przedmiotu, Stoner i Wankel podjęli się próby zdefiniowania konfliktu występującego w organizacji, określając go, jako "spór dwóch osób lub więcej członków albo grup, wynikający z konieczności dzielenia się ograniczonymi zasobami względnie pracami lub zajmowania odmiennej pozycji, różnych celów, wartości lub potrzeb" (Stoner 1996). Konflikt jest postrzegany jako ogólny poziom nieporozumienia pomiędzy partnerami konwersacji, którego zaistnienie nie jest traktowane jako zjawisko o charakterze patologicznym. O cechach patologicznych może być mowa dopiero w sytuacji braku możliwości jego pokojowego rozwiązania. Można też przyjąć, że konflikt, to zjawisko występujące w społecznych relacjach pomiędzy przynajmniej dwoma stronami, przy czym co najmniej jedna ze stron dostrzega drugą jako swojego przeciwnika, który angażuje się w działania mające na celu wyrządzenie szkody lub pozyskanie korzyści kosztem drugiej strony. Według A. Potockiego, w psychologii społecznej występują różnicowane fazy konfliktu:

- Stan narastającej frustracji.
- Wybuch konfliktu.
- Przebieg konfliktu.
- Zakończenie konfliktu.

W swej teorii, Potocki przedstawia, że przyczyną konfliktu jest najczęściej niezadowolenie oraz rosnącej frustracji, która powoduje powstanie napięcia i emocji. Stan taki prowadzi do przekonania o wyższości wartościach jednej strony nad innymi, w wyniku czego druga strona zostaje traktowana jako przeciwnik. Natomiast wybuch konfliktu według Potockiego, to przejście z konfliktu ukrytego w tzw. konflikt jawny. Pojawienie się takiej sytuacji oznacza, że pojawiła się obustronna świadomość zaistnienia danego konfliktu oraz możliwość dokładnego określenia powodu niezgody i możliwość ewentualnego opracowania strategii zaniechania dalszej eskalacji i jego wygaszenia (Potocki 2005).

### 2.2 Paradygmat konfliktu

Według słownika języka polskiego, konflikt jest to przedłużająca się niezgoda pomiędzy stronami, w którym występują różnice między wartościami oraz postawami niemożliwymi w łatwy sposób ich usunięcia<sup>1</sup>. Proces ten może zachodzić między jednostkami, grupami, narodami oraz organizacjami (Salejko-Szyszczyk 2011). Konflikt wynika ze sprzeczności interesów, poglądów, celów, intencji, obowiązków powodujących zaistnienie wrogich postaw między nimi.

Ralf Dahrendorf w swojej książce podaje stwierdzenie, że konflikt może być też określony jako społeczny, jeżeli wynika z właściwości określonych struktur społecznych, a biorący w nim udział należą do grupy społecznej lub jej namiastki (Dahrendorf 1993).

### 2.3 Poziomy i fazy konfliktu

W psychologii społecznej można wyróżnić kilka poziomów konfliktu. Jako pierwsze występują intrapersonalne, czyli w obrębie danej jednostki, interpersonalne występujące pomiędzy

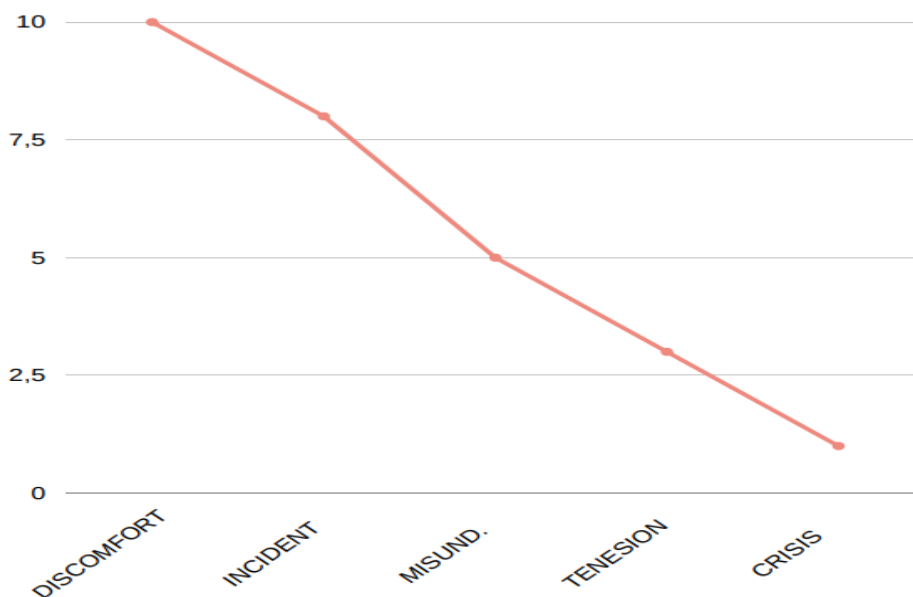
---

<sup>1</sup><https://sjp.pwn.pl/szukaj/konflikt.html> (dostęp, 14.01.2022)



jednostkami, wewnątrzgrupowe znajdujące się w ramach jednej grupy, międzygrupowe występujące pomiędzy różnymi grupami oraz wewnątrzorganizacyjne istniejące wewnątrz danej organizacji.

Na różnych poziomach występują zróżnicowane fazy konfliktu (Rys.1). Trafne rozpoznanie kolejnych faz konfliktu pozwala na podjęcie kroków zaradczych, zanim spór zacznie pogłębiać się i wyrządzać duże szkody, a w końcowym etapie stać się niemożliwym do pokojowego rozwiązania (Gmurzyńska i Morek 2014).



**Rys. 1.** Fazy konfliktu (<https://www.crnhq.org/cr-kit>).

W niektórych środowiskach zjawisko konfliktu jest postrzegane jako negatywne zjawisko, którego należy się szczególnie wystrzegać. Z wielu powodów wystąpienia konfliktów nie można uniknąć, ponieważ zachowania konfliktowe ludzi, są ich naturalną częścią egzystencji. Zamiast walczyć z konfliktem, można się z nim pogodzić, a nawet przygotować na ewentualne przyszłe ogniska konfliktowe (Stefańska, Knocińska 2014). Zaakceptowanie tego zjawiska ułatwi zarządzanie samym konfliktem oraz wyjście z trudnej sytuacji bez większej szkody, a nawet w niektórych przypadkach można pozyskać pewne korzyści z konfliktu.

#### 2.4 Zarządzanie konfliktem interesariuszy

W większych grupach np. miejscach pracy, czy organizacjach, powstanie konfliktu można prognozować z wyprzedzeniem i dużym stopniem prawdopodobieństwa. Występowanie konfliktów w grupach interesariuszy jest zjawiskiem na tyle naturalnym, że jego zaistnienie nie powinno budzić zaskoczenia ani obaw. Natomiast jego brak powinien zwrócić uwagę managementu. Powstanie konfliktu w grupie interesariuszy zazwyczaj ją wzmacnia, ale może też powodować eskalację wzajemnej niechęci, a nawet doprowadzić do rozpadu grupy (Fisher 2005).

W literaturze psychologii społecznej można spotkać przykłady konfliktów, które według niektórych autorów wykazują podobieństwo walki konkurencyjnej. Wyjaśnieniem podobieństwa konfliktu i konkurencji organizacji zajął się min J. Stoner, który wskazał, że taka forma konfliktu prowadzi do opracowania nowych technologii, produktów oraz usług i tym samym powoduje obniżenie cen, przez co konflikt konkurencyjny przynosi pozytywne efekty (Stoner 1996). Na powyższym przykładzie można skonstatować, że konkurencja z reguły nie jest konfliktem, jedynie może być podobna w sytuacji gdy cel zakłada potrzebę kontrolowania zachowania przeciwnika poprzez jego eliminację lub neutralizację. Po drugie, konkurencja występująca pomiędzy

organizacjami jest postrzegana jako podlegająca zewnętrznym zasadom lub uzgodniona przez przeciwne strony, natomiast konflikt nie podlega żadnym regułom, powstaje i przebiega spontanicznie.

W organizacjach lub miejscach pracy dochodzi do nieporozumień w postaci konfliktów międzygrupowych lub wydziałowych. Są to jedne z najczęstszych i najbardziej badanych zjawisk konfliktowych. Zaistnienie konfliktu może wynikać z różnych przyczyn, najczęściej przyczyna jest podział funkcji i zadań, poziomu specjalizacji lub profesjonalizmu, zróżnicowania celów, a także alokacja zasobów między wydziałami organizacji, wynikających często z niewystarczającego poziomu wymiany komunikacji (Krauss, Morsella 2005).

## 2.5 Cechy syndromów konfliktowych

Wszędzie tam, gdzie społeczność wchodzi ze sobą w interakcje międzyludzkie, mogą pojawić się konflikty społeczne, które są niezbywalnym składnikiem życia w większej lub mniejszej zbiorowości. W przypadku, kiedy grupy społeczne są mocno zróżnicowane, bądź też ich interesy są ze sobą sprzeczne, istnieje duże prawdopodobieństwo pojawienia się konfliktu. Konflikt może nastąpić na różnych płaszczyznach, oprócz sporu na tle zróżnicowanych interesów podmiotów, może być też wynikiem słabej komunikacji w grupie społecznej. Konflikty są nieuniknione i nie można ich całkowicie wyeliminować, natomiast można je częściowo kontrolować i w miarę możliwości zminimalizować, a nawet sprowadzić do konstruktywnego oddziaływania (Kołodziejczyk 2014). W każdym konflikcie zderzają się ze sobą różne poglądy, postawy, wzorce osobowe i wartości, które dotyczą jednostek, grup oraz organizacji.

Konflikt jest równoznaczny z rywalizacją o władzę, wartości, dominację i wartości materialne mającą, ma na celu przede wszystkim umożliwić eliminację lub zdominowanie konkurencji. Z nauki i praktyki wynika, że konflikty pojawiają się cyklicznych odstępach czasu i są procesami, które zdecydowanie częściej przebiegają w powtarzalnej kolejności od konfliktu ukrytego do jawnego. Należy dążyć do rozwiązywania konfliktów w taki sposób, aby nie przynosiły większych strat, a nawet wypracować w zarządzaniu konfliktami takie podejście, aby w przyszłości przynosiły korzyści dla organizacji społecznej (Ostrowska 2017). W konfliktach powstają poszczególne fazy wydajności, które oddziałują na interesariuszy w zależności od strefy w jakiej się relacja znajduje (Rys. 2.).



Rys. 2. Zależność wydajności w trzech strefach konfliktu (Hatch 2002).

Ważnym elementem w kierowaniu konfliktem, jest nierozwiązywanie, ale minimalizowanie sytuacji problemowej. Według S. Robbinsa każdy manager powinien być świadomy z możliwości występowania w jego organizacji mniejszych lub większych konfliktów. Świadomość taka pozwoli mu w porę i bez zaskoczenia, na ich adekwatną ocenę oraz podjęcie stosownej decyzji o szybkim

rozwiązaniu sytuacji konfliktowej. Z obserwacji różnych grup społecznych można wnioskować, że im wyższy jest poziom ich edukacji, rozwoju, specjalizacji, tym samym rozwiązywanie konfliktu jest łatwiejsze, a jego przebieg jest znacznie łagodniejszy (Robbins 2002).

## 2.6 Zarządzanie konfliktem interesariuszy

W środowisku pracy personel wszystkich szczebli tworzy społeczność lokalną interesariuszy, wypełnioną wewnętrznymi różnicowaniami i sprzecznościami. W organizacji takiej można wyróżnić dwa rodzaje grup społecznych; celowe (formalne) oraz spontaniczne (nieformalne) (Fliśnik (2021). A. Dubrin w swoim opracowaniu dowodzi, że z przyczyn oczywistych przed konfliktem wewnątrz organizacji nie można się ustrzec. Podstawowymi elementami konfliktogennymi są działania konkurencyjne wśród personelu o korzyści wynikające z pozycji w hierarchii społecznej. Konsekwencje konfliktów wewnątrzgrupowych łączą się najczęściej z niedoskonałościami organizacji pracy, które bez potrzeby pochłaniają energię personelu, która zasadniczo powinna być wykorzystana na cele, jakie ma do zrealizowania (DuBrin 1979).

Podsumowując rozdział, należy nadmienić, że niewłaściwe rozwiązanie konfliktu może być podłożem do wystąpienia kolejnych napięć. Aby zapobiec ewentualnemu konfliktowi, management organizacji powinien skorzystać z profesjonalnego wsparcia specjalistów z zakresu psychologii społecznej (Kenrick, Neuberg, Cialdini 2002).

W przypadku działalności człowieka, interakcja jest czynnością społeczną, która powstaje w wyniku orientowania się na innych ludzi w procesie komunikacji oraz stanowi odpowiedź na ich postępowanie. Interakcja oddziałuje na poszczególne osoby w grupie, które wzajemnie na siebie wpływają, powodując modyfikacje zachowania każdego uczestnika z osobna, jako reakcję na zachowania pozostałych osób (Schroeder 2015). Na Rys. 3., przedstawiono permanentne zachowania podmiotów tworzące bariery komunikacyjne w komunikacji interpersonalnej.



**Rys. 3.** Graficzny model barier w zachowaniach podmiotów.

## 3. Zjawiska społeczne

### 3.1 Zachowania interesariuszy

Ze względu na złożoność i obszerność zakresu tematyki, w psychologii społecznej niełatwo jest wyróżnić jedno i uniwersalne podejście teoretyczne, które pozwoliłoby uzyskać odpowiedź na wszystkie pytania i wątpliwości dotyczące zachowań interesariuszy. Problem polega na tym, że zastosowanie jednego sposobu interpretowania i konkludowania w zakresie przyczyn i mechanizmów zachowań ludzkich, może być niewystarczające. Wyniki opracowania mogą być powodem rozczarowania dla badaczy, którzy spodziewali się klarownych i jednoznacznych odpowiedzi.

Profesor Wojciszke wyjaśnia zachowania organizacji społecznych, poprzez podjęcie próby spojrzenia z perspektywy nauk teoretycznych, przy założeniu że każda z osobna w nieco inny sposób podchodzi do problematyki różnicowań behawioralnych oraz wzorców ludzkiej psychiki, która

wykazuje kluczowe znaczenie w różnych podejściach teoretycznych opierających się na modelach wyjaśniania zjawisk i zachowań społecznych (Wojciszke 2020).

### 3.2 Rola społeczna psychologii

Psychologia społeczna jest też instrumentem stanowiącym podstawę wiedzy wykorzystywanej w wielu istotnych dziedzinach ludzkiej aktywności, jak również ma zastosowanie w oddzielnych dyscyplinach naukowych z zakresu managementu, marketingu, biznesu, marketingu oraz wielu innych płaszczyznach życia publicznego i politycznego. Nauki zajmujące się psychologią społeczną (zjawiskami społecznymi) zaliczane są do dyscypliny, która bada oddziaływanie innych ludzi na myślenie, zachowanie i uczucia konkretnej jednostki. Psychologia pomaga zdobyć lub poszerzyć wiedzę w zakresie badania interakcji międzyludzkich, wspiera działania w rozwiązywaniu konfliktów społecznych (Gmurzyńska i Morek).

Puentując zagadnienie należy zaznaczyć, że psychologia społeczna stara się pogłębić istniejące i opracować nowe teorie w zakresie ludzkich zachowań. Należy tu wyróżnić dwa najbardziej wpływowe kierunki psychologiczne nazwane jako behawioryzm i psychologia humanistyczna, które pomogły nauce wypracować nową koncepcję człowieka.

## 4. Podsumowanie

Z punktu widzenia psychologii społecznej, rola psychiki człowieka jest bardzo ważnym elementem w relacjach międzyludzkich, zarówno w małych, jak i większych ich skupiskach. Istotne znaczenie odgrywają umiejętności miękkie, związane z wywieraniem wpływu, autoprezentacji, negocjowaniem i rozwiązywaniem konfliktów. Psychologia społeczna to umiejętności z zakresu sztuki porozumiewania się i rozwiązywania konfliktów, kształtowania relacji międzyludzkich w środowisku mono i międzykulturowym. Zdobyte kompetencje psychologiczne są niezbędne w całej grupie dziedzin zawodowych skojarzonych zarówno z życiem społecznym, jak i gospodarczym, w którym funkcjonują skupiska ludzkie.

W środowisku społecznym, konflikt jest zjawiskiem naturalnym i dotyczy każdej zbiorowości ludzkiej. Konflikty występują praktycznie we wszystkich grupach, a ich wyeliminowanie nie jest łatwe, a nawet niewskazane. Konflikt jest niezbędnym ogniwem w poprawnym funkcjonowaniu grupy czy organizacji, a próba jego rozwiązywania jest istotna w sferze skutecznego zarządzania grupą lub organizacją. Z praktyki wynika, że istotnym jest, aby w każdym środowisku, w którym pojawia się problem konfliktu, szybko go zdefiniować i zlikwidować szkodliwe źródło konfliktu oraz precyzyjnie wyodrębnić możliwe korzyści, jakie mogą wystąpić w przedmiotowej sytuacji konfliktowej.

## 5. Bibliografia

- Coleman P (2005) Konflikt a władza, w: red. M Deutsch, PT Coleman, Rozwiązywanie konfliktów. Teoria i praktyka: 103-129.
- Dahrendorf R (1993) Nowoczesny konflikt społeczny. Esej o polityce wolności, Spółdzielnia Wydawnicza „Czytelnik”: 57-93.
- DuBrin A (1979) Praktyczna psychologia zarządzania PWN: 69-92.
- Fisher R (2005) Konflikt międzygrupowy, w: red. M. Deutsch, P. T. Coleman, Rozwiązywanie konfliktów. Teoria i praktyka: 153 – 179.
- Fliśnik C (2021) Innowacyjny management w digitalnych mediach, [w:] Międzynarodowa Innowacyjność i Konkurencyjność w XXI w. Aspekty Innowacyjne: 21-28.
- Gmurzyńska E, Morek R (2014) Mediacje. Teoria i praktyka, Wolters Kluwer: 93-135.
- Hatch M (2002) Teoria organizacji, PWN Warszawa.
- Kenrick D, Neuberg S, Cialdini R (2002) Psychologia społeczna, r. 13 Globalne dylematy społeczne: 632 – 657.
- Kołodziejczyk A (2014) Rola konfliktu w organizacji [w:] Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo – Humanistycznego w Siedlcach nr 100: 317-325.

- Krauss R, Morsella E (2005) Konflikt a komunikacja, w: red. M. Deutsch, P. T. Coleman, Rozwiązywanie konfliktów. Teoria i praktyka: 134-146.
- Ostrowska M (2017) Konflikty w pracy – ich przyczyny i sposoby rozwiązywania, Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka, nr 9/2017, CIOP-PIB: 10-15.
- Potocki A (2005) Zachowania Organizacyjne. Wybrane zagadnienia, Difin: 93-126.
- Robbins S (2002) Zasady zachowania w organizacji, Zysk i S-ka: 79-93.
- Salejko-Szyszcak I (2021) Klasyfikacja konfliktów w przedsiębiorstwie, Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zarządzanie, Zeszyt nr 404: 137-149.
- Słaboń A (2008) Konflikt społeczny i negocjacje, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie: 59-83.
- Stefańska A, Knocińska A, Kwiatkowska E (2014) Konflikt-negocjacje-kultura-komunikacja. Psychologiczne uwarunkowania i aplikacje, Wydawnictwo Adam Marszałek: 54-93.
- Stoner J, Wankel C (1996) Kierowanie. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne: 311-332.
- Schroeder J (2015) Zarządzanie konfliktem w organizacji działającej w międzynarodowym otoczeniu – wpływ kultury narodowej " Zeszyty Naukowe Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie" nr 10: 130-137.
- Wojciszke B (2020) Psychologia społeczna Wydawnictwo Naukowe SCHOLAR: 19-34.

## Przegląd badań

### **3. Hipnoza w leczeniu bólu. Przegląd badań.**

Hypnosis and pain reduce. A descriptive review.

Agnieszka Śliwińska

Wydział Psychologii i Prawa w Poznaniu, Uniwersytet Humanistyczno Społeczny SWPS

Agnieszka Śliwińska: asliwinska8@st.swps.edu.pl

Opiekun naukowy: mgr Paweł Brzóska

#### **Streszczenie**

Istnieje wiele doniesień o tym, że hipnoza może być wykorzystywana jako praktyczne narzędzie wspomagające leczenie bólu, zarówno w dziedzinie psychologii klinicznej, medycyny konwencjonalnej, czy stomatologii. Powszechne zastosowanie hipnozy w placówkach medycznych mogłoby być korzystne ze względów ekonomicznych, ale przede wszystkim zwiększyłoby komfort i ulgę w cierpieniu pacjentów. W niniejszym przeglądzie zostanie przedstawione objaśnienie konstruktów oraz próba oceny ogólnej skuteczności hipnozy jako niefarmakologicznego środka analgetycznego, tj. przeciwbólowego.

#### **1. Wstęp**

Hipnoza to wciąż kontrowersyjny temat, wokół którego krąży wiele mitów. Najbardziej powszechny z nich głosi, że osoba zahipnotyzowana może zostać wykorzystana przez hipnotyzera i zmuszona do czegoś wbrew swojej woli (Siuta 2007). Ponadto, hipnoza kojarzona jest z pseudonauką, występami w telewizji, oraz kursami prowadzonymi przez domorosłych znawców. Ostatnie skojarzenie ma swoje uzasadnienie w tym, że praktyka hipnozy nie jest regulowana przez prawo większości państw. W Stanach Zjednoczonych nie jest wydawane żadne poświadczające kwalifikacje uprawnienie, które zweryfikowałyby kompetencje i wykształcenie hipnotyzera. W rezultacie każdy może nazwać siebie „mistrzem hipnozy” i świadczyć wątpliwej jakości, a może nawet niebezpieczne dla zdrowia psychicznego usługi (Montgomery i in. 2013). Niemniej jednak, ogólna skuteczność i zastosowanie hipnozy klinicznej została przebadana, tak więc powinno się szerzyć wiedzę naukową na jej temat, by rozwiązać krążące niejasności.

#### **2. Hipnoza**

Nie ma jednej, precyzyjnie określonej definicji hipnozy, co utrudnia prowadzenie konstruktywnej dyskusji naukowej na jej temat. Termin ten popularnie kojarzy się ze sferą mistyczną, co mogło pozostać naleciałością jeszcze z czasów jej początków, kiedy była znana pod postacią mesmeryzmu. Być może właśnie dlatego, jak podaje Reber i Reber (2000), przyciąga wielu „szarlatanów i religijnych uzdrowicieli”.

W drugiej połowie XX w. hipnoza została podzielona na dwa paradygmaty – transowy i nietransowy (Siuta 2007). Paradygmat transowy traktowało o hipnozie jako odrębnym stanie świadomości, na pograniczu snu i jawy, w którym podatność na sugestie rośnie wraz ze stopniem głębokości transu. Natomiast paradygmat nietransowy uważało hipnozę za specyficzny rodzaj interakcji społecznej, w którym osoba hipnotyzowana wciela się w pewną rolę społeczną i reaguje na hipnozę w sposób zgodny ze swoimi postawami i oczekiwaniami wobec niej.

Obecnie ciężko wyodrębnić jedną, solidną definicję teoretyczną hipnozy. Można jednak zaprezentować jej charakterystykę i definicję operacyjną, będącą fuzją obydwu paradygmatów, które w gruncie rzeczy dobrze się uzupełniają (Siuta 2007). Wedle nowszego ujęcia tego zjawiska, hipnoza może być postrzegana jako zmieniony stan świadomości, porównywany do stanu świadomości obecnego podczas zatrącenia się w pochłaniającej lekturze. W tym stanie uwaga jest oderwana od bezpośredniego otoczenia i doświadczenia teraźniejszości, ponieważ skupia się na wewnętrznych uczuciach, myślach, czy wyobrażeniach (Williamson 2019). Ów stan jest wywoływany za pomocą

indukcji hipnotycznej, która składa się z sugestii i przygotowuje do wprowadzenia kontekstu hipnotycznego, tzn. sugestii docelowych, takich jak sugestie o uśmierzeniu bólu (Williamson 2019).

Wrażenia obecne podczas hipnozy oraz podatność na sugestie są zależne od głębokości transu (Hadley i Staudacher 2012) i od indywidualnej reaktywności osoby na sugestie hipnotyczne (Siuta 2007). Dodatkowo podczas stanu hipnotycznego osoba łatwo podejmuje się odgrywania zasugerowanych ról (Siuta 2007). Badania neuroobrazowe mózgu wykazały, że wyobrażenia zasugerowane podczas indukcji hipnotycznej (kolor, dźwięk, aktywność fizyczną, ból) aktywują podobne obszary mózgu do tych aktywowanych podczas rzeczywistych doznań (Williamson 2019).

Hipnoza okazała się najskuteczniejsza w przypadku pomocy w uśmierzeniu bólu (Del Casale i in. 2012), który jest subiektywnym doświadczeniem obejmującym całą uwagę cierpiącego. Przewagą tej metody nad chemicznymi środkami znieczulającymi jest to, że nie powoduje niekorzystnych efektów ubocznych oraz jest dobrą alternatywą dla osób, które nie tolerują chemicznych środków analgetycznych (Montgomery i in. 2013). Hipnoza wprowadza pacjenta w stan relaksacji przed operacją i korzystnie wpływa na samopoczucie oraz obniżenie stresu. Szczególnie pacjenci terminalni, cierpiący na chroniczny ból, dostający duże dawki środków przeciwbólowych, tracą kontakt z rzeczywistością i tym samym z bliskimi. Zastosowanie hipnozy obok leczenia farmakologicznego umożliwiłoby zmniejszenie dawki leku i utrzymanie świadomego kontaktu z otoczeniem, w być może ostatnich chwilach ich życia (Milton i Erickson 1959). Co więcej, konwencjonalne leki przeciwbólowe, zwłaszcza opioidowe, prowadzą do uzależnienia i stosowanie ich może grozić przedawkowaniem. Stąd też wprowadzanie niefarmakologicznych metod analgetycznych, takich jak hipnoza, w placówkach medycznych powinno stać się priorytetem (Patterson i in. 2021).

### **3. Psychologiczny aspekt bólu**

Ból, choć ma działanie ostrzegawczo-ochronne dla organizmu, w nadmiernym nasileniu lub częstotliwości uniemożliwia normalne funkcjonowanie człowieka. Jest to proces fizyczny, ale także psychiczny, co szczególnie wyraźnie pokazuje zjawisko bólów fantomowych. To "nieprzyjemne, zmysłowe i emocjonalne doświadczenie, związane z faktycznym lub potencjalnym uszkodzeniem tkanek, lub opisywane w kategoriach takiego uszkodzenia" (Merskey 1994; za: Wolf i in. 2016). Poza receptorami wrażliwości bólu, drugim czynnikiem warunkującym ból są emocje. Jak wykazano, negatywny afekt, choć jest następstwem bólu, może też nasilać doznania bólowe. Również aspekty poznawcze mają znaczenie w percepcji bólu – zdarza się, że nagły ból spowodowany urazem jest początkowo bardzo słabo lub wcale odczuwalny, co może być spowodowane przekierowaniem uwagi (Przybyłko i Walesa 2016).

### **4. Hipnoza w redukcji bólu**

Z racji tego, że ból ma również charakter psychiczny, metody farmakologiczne powinny być uzupełniane o psychologiczne metody (Przybyłko i Walesa 2016). Hipnoza jest jedną z metod pomocnych w zmniejszaniu bólu i zwiększeniu tolerancji na ból, którą w tym zakresie doczekała się nawet swojego odrębnego terminu – tzw. hipnoanalgezja. Interwencja hipnoanalgetyczna polega na wprowadzeniu w stan hipnozy za pomocą indukcji, a następnie zastosowanie sugestii dotyczących zmniejszenia bólowego dyskomfortu – osoba badana jest instruowana, by skoncentrowała się na obszarze ciała, z którego dobiega ból i wyobraziła sobie, że ten obszar jest znieczulony (Casiglia i in. 2020). Wyniki badań wskazują, że hipnoanalgezja może być stosowana zarówno przy bólu ostrym, jak i przewlekłym. Informacja ta jest bardzo obiecująca dla osób cierpiących na przewlekły ból, ponieważ ten rodzaj bólu jest odporny na leczenie, co rodzi frustrację i wzmacnia stres, prowadząc do intensyfikacji doznań bólowych (Stoelb i in. 2009). Stosowanie hipnozy może również zmniejszyć ilość przyjmowanych leków i tym samym obniżyć występowanie polekowych efektów ubocznych, takich jak: mdłości, bóle głowy, wymioty i uzależnienie (Hadley i Staudacher 2012).

Wyniki pierwszej, kompleksowej metaanalizy badań eksperymentalnych i klinicznych wskazują, że hipnoza przyniosła znaczną ulgę w bólu w przypadku 75% grupy badanej, bez względu na rodzaj bólu (Montgomery i in. 2000). Hipnoanalgezja wywierała jednak efekt głównie na osoby



z dużą podatnością na sugestie. W przypadku osób o niskiej podatności, efekt hipnoanalgezji był bliski zeru. Metaanaliza badań przeprowadzona przez Patterson i Jensen (2003) wskazuje, że hipnoanalgezja jest co najmniej tak samo skuteczna jak inne interwencje psychologiczne stosowane przy stanach bólowych. Nowszą o blisko 20 lat metaanaliza (Milling i in. 2021) przytoczyła podobne zależności oraz wykazała, że hipnoza jest podobnie skuteczna jak inne powszechnie stosowane podejścia psychologiczne do leczenia bólu, takie jak: terapia poznawczo-behawioralna (CBT), biofeedback, czy mindfulness. Argumenty te przemawiają za szerszym wykorzystaniem tej techniki w praktycznym zastosowaniu.

W psychoterapii, w celu lepszego zrozumienia zastosowanej techniki hipnotycznej dla pacjenta, hipnoza jest przedstawiana pacjentom jako rodzaj skupionej uwagi i koncentracji, podobnie jak zatracenie się w książce lub filmie, w którym łatwo stracić orientację, co się dzieje wokół (Montgomery i in. 2013). Badacz Montgomery wraz z zespołem (2013) proponują następujący przebieg zastosowania hipnoanalgezji wobec pacjentów bólowych: (1) Wyjaśnienie na czym polega hipnoza i obalenie mitów na jej temat, dzięki czemu pacjent zwiększy swój komfort w trakcie sesji; (2) Uzyskanie świadomej zgody na przeprowadzenie hipnozy; (3) Zastosowanie indukcji hipnotycznej; wprowadzenie w stan relaksacji i zasugerowanie wyobrażeń, które odwrócą uwagę od okoliczności; (4) Następnie pacjent jest proszony o wyobrażenie sobie, że znajduje się w jakimś konkretnym, przyjemnym miejscu, które bardzo dokładnie pamięta; (5) Kiedy pacjent jest już głęboko zahipnotyzowany, hipnotyzer oferuje sugestie docelowe, zmniejszające stres i ból oraz wpływające na poprawę samopoczucia.

## **5. Metodologia i przykładowe współczesne badania**

Działanie analgezji hipnotycznej nie jest jeszcze całkiem zrozumiane. Jeden z modeli psychologicznych sugeruje, że indukcja hipnotyczna powoduje „przesunięcie uwagi od zewnętrznych informacji percepcyjnych, co zmniejsza monitorowanie wskazówek sensorycznych i tym samym zmniejsza ból” (Jensen i Patterson 2014). Badacze, Casiglia i in. 2020, próbowali wyjaśnić dokładny mechanizm działania analgezji hipnotycznej przy pomocy funkcjonalnego rezonansu magnetycznego (fMRI). W badaniu wzięło udział 20 osób, zastosowano dobór celowy. Wyodrębniono osoby

odznaczające się wysoką podatnością hipnotyczną zmierzoną za pomocą Stanfordzkiej Skali Podatności Hipnotycznej (Morgan i Hilgard 1978; za: Patterson i in. 2021). Miało to na celu zbadanie aktywności mózgu podczas analgezji. W ustawieniu wstępnym wszyscy badani zostali wprowadzeni w indywidualną indukcję słowną, by stworzyć odpowiedni kontakt między osobą badaną, a hipnotyzerem – tzw. rapport. Miało to na celu zmniejszyć czas trwania wprowadzania w następną indukcję. Badani zostali umieszczeni w aparaturze i odsłuchiwali sugestii hipnotyzera przez słuchawki. Jako bodziec bólowy zastosowano zimną wodę o temperaturze 0°C. Dzięki zastosowanej procedurze, wykazano nieobecność doznań bólowych w grupie badawczej – grupa badawcza wskazała na natężenie bólu równe zeru, podczas gdy grupa kontrolna, która miała zachowaną świadomość, wskazała natężenie bólu w zakresie od 6,8 do 10, przy skali od 1–10 na wizualnej skali analogowej. Wyniki badania fMRI nie wskazują jednoznacznej odpowiedzi na pytanie badawcze. Autorzy badania sugerują, że na poziomie neurologicznym, głęboka hipnoanalgezja może powodować hamowanie aferentnych sygnałów receptorów wrażliwości bólu (nocyceptorów), docierających do kory somatosensorycznej oraz modulację bólu poprzez wywoływanie zmian w układzie limbicznym. Dodatkowo sugerują, że silna aktywacja mózdkowa zaobserwowana w badaniu fMRI może przyczyniać się do redukcji bólu poprzez hamowanie kory mózgowej.

W jednym z najnowszych badań przeprowadzonym przez Patterson i in. (2021), sprawdzono leczenie bólu z zastosowaniem połączenia dwóch, niefarmakologicznych technik analgetycznych: hipnozy i techniki odwracania uwagi za pomocą wirtualnej rzeczywistości (VR), w warunkach laboratoryjnych. Przeprowadzono randomizowane, pojedyncze badanie ze ślepą próbą, w którym wzięło udział 205 osób w wieku od 18–20lat. Hipnotyzowalność osób badanych była sprawdzana przy pomocy Stanfordzkiej Skali Podatności Hipnotycznej (Morgan i Hilgard 1978; za: Patterson i in. 2021). Wykorzystano termiczny bodziec bólowy, który badani oceniali na skali intensywności. Sugestie w indukcji hipnotycznej ściśle odzwierciedlały to, czego uczestnicy doświadczyli

w wygenerowanym komputerowo świecie VR. Wyniki badania wykazały, że zastosowanie hipnozy w połączeniu z techniką VR jest bardziej skuteczne niż samo zastosowanie techniki VR. Z drugiej strony zastosowanie jedynie VR nie zwiększa skuteczności uśmierzenia bólu bardziej niż sama hipnoanalgeza. Co interesujące, hipnoza zmniejszyła ból ostry nawet u osób, które uzyskały niskie wyniki w zakresie podatności na hipnozę. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że ból wywołany w warunkach laboratoryjnych, ze względów etycznych będzie zawsze słabszy od tego odczuwanego w warunkach klinicznych. Dlatego uzyskane laboratoryjnie wyniki nie będą się całkowicie przekładać na warunki naturalne. Ponadto dodatkowym ograniczeniem badania był mały zróżnicowany, młody wiek osób badanych, co utrudnia uogólnienie wyników na osoby spoza tej grupy wiekowej.

Niewiele badań porównuje hipnoanalgezę z farmakologicznymi analgetykami. Jedno z nich, badanie typu cross-over przeprowadzone przez Wolfa i współpracowników (2016), dotyczyło efektu hipnozy zastosowanej w uśmierzaniu bólu zęba, w porównaniu do tradycyjnego znieczulenia miejscowego. Celem eksperymentu było zweryfikowanie, czy można zastąpić samą hipnozą stosowanie znieczulenia miejscowego. W badaniu wzięły udział 34 osoby, które zostały przydzielone do dwóch grup. Badanie trwało dwa dni. Każda z grup jednego dnia otrzymała indukcję hipnotyczną, a drugiego dnia znieczulenie miejscowe i różniły się pod tym względem kolejnością.

Aktywność układu współczulnego była istotnie mniejsza w przypadku hipnoanalgezji niż w przypadku farmakologicznego środka analgetycznego. Zaobserwowano również mniejsze krwawienie, co mogło wskazać na to, że badani byli bardziej spokojni i odczuwali mniejszy lęk podczas zabiegu. Wyniki badań wykazały bardzo duże subiektywne wahania w odczuciu bólu między osobami, jednak u wszystkich hipnoza zwiększyła tolerancję na ból, chociaż znieczulenie miejscowe bardziej efektywnie zmniejszyło odczuwany próg bólu niż zastosowanie hipnozy. U 6 z 34 osób badanych (18%) udało się osiągnąć pełne znieczulenie za sprawą hipnozy. Wyniki tego badania sugerują, że choć hipnoza nie powinna być stosowana w znieczuleniu samoistnie, to jej zastosowanie jako dodatek do tradycyjnego znieczulenia mogłoby znacząco zwiększyć komfort pacjenta podczas zabiegu, w tych mało przyjemnych okolicznościach. Niemniej jednak, próba osób badanych była zbyt mała by uznać ją za reprezentatywną dla populacji i zmniejsza wiarygodność płynących z niego wniosków.

## **6. Podsumowanie i wnioski**

Przytoczone badania wskazują na bardzo korzystne działanie hipnozy w zmniejszaniu bólu, który jest czynnikiem utrudniającym funkcjonowanie i rzutującym na samopoczucie. Dlatego też, badania nad tym zagadnieniem powinny być kontynuowane. Wciąż istnieją mankamenty natury metodologicznej, które warto to rozwiązać: m.in. brak szczegółowych opisów dotyczących interwencji hipnotycznej, np. brak dokładnej deskrypcji zastosowanych sugestii hipnotycznych. Dokładny opis procedury ułatwiłby opracowywanie metaanaliz oraz wzmocnił bazę empiryczną, z której korzystają klinicyści; Oprócz tego, większość badań operowała na małych, niereprezentatywnych próbach osób badanych, co budzi wątpliwości co do możliwości przekładania wyników na ogół populacji; Ponadto manipulacja bodźcem bólowym w warunkach eksperymentalnych, takich jak np. zanurzenie ręki w bardzo zimnej wodzie, nie jest tym samym co ból kliniczny, który jest znacznie silniejszy i sięga wielu obszarów. Z drugiej strony, zastosowanie samej hipnozy w warunkach klinicznych, np. podczas operacji chirurgicznej, jest równie nieetyczne. Chociaż są to ograniczenia wynikające z etyki badawczej, należy dążyć do ulepszenia procedury metodologicznej w taki sposób, by zwiększyć rzetelność i trafność badań i móc wyciągać z nich klarowne wnioski.

Dalsze badania powinny również zweryfikować efektywność hipnoanalgezji w odniesieniu do różnic indywidualnych. Nie ma zgodności co do tego, czy hipnoanalgeza powinna być stosowana tylko u osób z wysoką sugestywnością. Badacze podkreślają silną zależność między podatnością na sugestie, a skutecznością wprowadzenia w indukcję hipnotyczną, ale jednocześnie twierdzą, że wszyscy mogą odnieść korzyści z leczenia hipnozą (Milling i in. 2021). Nie daje to jasnej odpowiedzi w zakresie tego, czy u każdego można zastosować hipnoanalgezę. Możliwe, że poza podatnością na

sugestie, na efektywności hipnoanalgezji wpływ mają też inne moderatory takie jak: otwartość na doświadczenie, oczekiwanie pozytywnych rezultatów, czy skłonność do dysocjacji i fantazjowania.

Należałoby również dokładnie porównać sposoby formułowania i przedstawiania sugestii hipnotycznych, w celu sprawdzenia, który będzie najbardziej efektywny. Wśród sposobów tych wymienia się: bezpośrednią indukcję sugestii przez hipnotyzera, autosugestię, czy też pośrednią indukcję hipnotyczną, odsłuchiwaną za pomocą nagrań. Badania prowadzone w przyszłości powinny skupić się na określeniu warunków, które maksymalizują skuteczność hipnoanalgezji, tak aby w pełni wykorzystać jej potencjał.

Kolejną kwestią wymagającą weryfikacji jest czynnik ekonomiczny. Choć pojedyncze badania wskazywały na kosztową przewagę hipnoanalgezji nad farmakologiczną analgezą (wypada taniej), to pod tym kątem brakuje rzetelnej analizy ekonomicznej, dlatego nie można jednoznacznie stwierdzić, że hipnoanalgezja jest bardziej opłacalna od np. opioidów.

Natomiast wyniki badań były zgodne co do tego, że hipnoza wywiera pozytywny wpływ na pacjenta w postaci relaksacji i redukcji ilości przyjmowanych farmaceutycznych analgetyków. Takie badania wspierają twierdzenie, że istnieje duży potencjał dla zwiększenia integracji hipnozy klinicznej w opiece zdrowotnej. Przemawiają też za tym, że hipnoza powinna być rozważana jako strategia wspierająca leczenie bólu podczas omawiania z pacjentami opcji leczenia. Konieczne są jednak dalsze badania dotyczące oceny empirycznej, oraz próby wytlumaczenia działania hipnoanalgezji na poziomie neurologicznym.

Podsumowując, mimo że wyniki przedstawione w tym przeglądzie są zachęcające, należy zauważyć, że są one nadal w fazie wstępnej. Wynika to z faktu, że nadal istnieje kilka luk, które należy uzupełnić. Kluczowe jest rozwiązanie problemów metodologicznych, które wpłynęły na wcześniejsze badania, takich jak brak standaryzacji interwencji hipnotycznych, czy mała liczebność próby. Rozwiązanie tych kwestii pomoże w wyciąganiu mocnych wniosków i formułowaniu trafnych zaleceń dotyczących leczenia bólu za pomocą hipnoanalgezji.

## **7. Bibliografia**

- Casale AD, Ferracuti S, Rapinesi C i in. (2012) Neurocognition under hypnosis: findings from recent functional neuroimaging studies. *International Journal of Clinical and Experimental Hypnosis*, 60(3), 286-317.
- Casiglia E, Finatti F, Tikhonoff V, i in. (2020) Mechanisms of hypnotic analgesia explained by functional magnetic resonance (fMRI). *International Journal of Clinical and Experimental Hypnosis*, 68(1): 1-15.
- Hadley J, Staudacher C (2012) Hipnoza w psychoterapii. *Psychiatria i Psychoterapia*, 8(1): 41-44.
- Jensen MP, Patterson DR (2014) Hypnotic approaches for chronic pain management: clinical implications of recent research findings. *American Psychologist*, 69(2): 167.
- Milton H, Erickson MD (1959) Hypnosis in Painful Terminal Illness, *American Journal of Clinical Hypnosis*, 1(3): 117-121.
- Milling LS, Valentine KE, LoStimolo LM, i in. (2021) Hypnosis and the alleviation of clinical pain: a comprehensive meta-analysis. *International Journal of Clinical and Experimental Hypnosis*, 69(3): 297-322.
- Montgomery GH, DuHamel KN, Redd WH. (2000) A meta-analysis of hypnotically induced analgesia: how effective is hypnosis? *International Journal of Clinical and Experimental Hypnosis*, 48(2), 138-153.
- Montgomery GH, Schnur JB, Kravits K (2013) Hypnosis for cancer care: Over 200 years young. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 63(1): 31-44.
- Patterson DR, Hoffman HG, Chambers G, i in. (2021) Hypnotic enhancement of virtual reality distraction analgesia during thermal pain: A randomized trial. *International Journal of Clinical and Experimental Hypnosis*, 69(2): 225-245.
- Patterson DR, Jensen MP (2003) Hypnosis and clinical pain. *Psychological bulletin*, 129(4): 495-521.
- Przybyłko K, Walesa C (2016) Psychologiczna problematyka bólu. *Horyzonty Psychologii i Nauk o Człowieku*, 6.

## Przegląd badań

- Reber AS, Reber ES (2000) Słownik psychologii. Wydawnictwo Naukowe Scholar. Siuta J (2007) Psychologia zjawisk hipnotycznych. WiR Partner.
- Stoelb BL, Molton IR, Jensen MP, i in. (2009) The efficacy of hypnotic analgesia in adults: A review of the literature. *Contemporary Hypnosis*, 26(1): 24-39.
- Williamson A (2019) What is hypnosis and how might it work?. *Palliative Care: Research and Treatment*, 12: 1178224219826581.
- Wolf TG, Wolf D, Callaway A, i in. (2016) Hypnosis and local anesthesia for dental pain relief—alternative or adjunct therapy?—a randomized, clinical-experimental crossover study. *International Journal of Clinical and Experimental Hypnosis*, 64(4): 391-403.

#### **4. Filmowa historia, która tworzy mit**

A movie story that creates a myth

Wioleta Górską-Sierońska

Wioleta Górską-Sierońska: vvioletagorska@gmail.com

**Słowa kluczowe:** cesarzowa Sissi, melodramat, biografia, fikcja

##### **Streszczenie**

Celem artykułu jest próba analizy faktów z biografii Cesarzowej Elżbiety w kontekście ekranizacji jej życia w filmie Ernsta Marischki pt. *Sissi*. Premiera filmu miała miejsce w 1955 r. i odniosła spektakularny sukces. W niniejszym artykule główne wątki filmu zostają poddane analizie historycznej, która jest zestawiona ze społeczną wizją i potrzebą tworzenia przekazu dla osób, które nie znają losów prawdziwej cesarzowej. Artykuł ten odwołuje się do biografii naukowych, które zostają porównane z fikcją filmową. Przeprowadzona analiza pokazuje różne możliwości postrzegania filmu *Sissi* i innych podobnych ekranizacji inspirowanych historią.

##### **1. Wstęp**

Celem niniejszego artykułu jest próba analizy faktów z biografii Cesarzowej Elżbiety w kontekście ekranizacji jej życia w filmie Ernsta Marischki pt. *Sissi*. W 1955 r. miała miejsce światowa premiera pierwszej części filmu, w którym główną rolę zagrała Romy Schneider. W moim artykule odniosę się jedynie do pierwszej części filmowej „trylogii”.

Inspiracją do zajęcia się niniejszym tematem był dla mnie sam tytuł filmu, który wprowadza widzów w błąd. Elżbieta Bawarska, którą pieszczotliwie nazywano Sisi, w ekranizacji otrzymuje imię z dodatkowym „s”. Sam tytuł zainspirował mnie do zbadania, które fakty z życia cesarzowej były wystarczająco baśniowe, a które cechy i zachowania księżniczki zostały odrzucone. Film to nie prawda historyczna, a badany romans<sup>1</sup> nie musiał być wierną kopią życia sławnej żony Franciszka Józefa I. Niniejszy artykuł zastał oparty głównie na jedynej biografii cesarzowej autorstwa Brigitte Hamman pt. *Cesarzowa Elżbieta* (Hamann 1999). Pozostałe informacje uzupełniłam na podstawie biografii i opracowań dotyczących życia cesarza Austro-Węgier.

##### **2. Relacja kina i historii**

Film może być wykorzystany jako źródło historyczne do badania epoki, w której powstał. Ekranizacja danego wydarzenia czy biografia danej postaci, jest tylko pewną wizją reżysera, scenarzysty. Film jako źródło wymaga, zgodnie z metodologią badań historycznych, krytyki wewnętrznej. Autor filmu wnosi do niego takie samo widzenie świata, jak kronikarz do swojej kroniki. Im większa jednostka filmu, tym na ogół większy stopień subiektywnego widzenia przedstawianej rzeczywistości przez autora filmu (Topolski 1983: 274).

W niniejszym artykule skupię się na relacji kina i historii. Film może być także wykładem historii, spełniać funkcję nie tyle historyka-badacza, co historyka-nauczyciela. Kogoś, kto zapoznaje nas z przeszłością, tworzy jej wyobrażony wizerunek. Dlatego niezwykle ważne jest, żeby widz miał świadomość, jak delikatnie należy podejść do wizerunku przedstawionego na ekranie. Niemożliwe jest porównanie tekstu historycznego z historią opowiedzianą przy pomocy kina. Realne jest wcielenie wizji historyka w film, podobnie jak w sztukę teatralną, ale według niektórych badaczy film charakteryzuje się wielką „dyskursywną słabością”, dlatego stworzenie znaczącego przekazu historycznego w filmie nie jest możliwe. Ograniczone są bowiem możliwości przekazania prawdy. Świat poruszający się w nieubłaganym tempie dwudziestu czterech klatek na sekundę nie pozostawia ani czasu, ani miejsca na refleksję, weryfikację faktów czy dyskusję. Możliwe jest stworzenie

---

<sup>1</sup>Film pt. *Sissi* ciężko jednoznacznie sklasyfikować gatunkowo. Dokumentalne filmy historyczne są bliższe historiografii, dokumenty nie są narażone na wymóg rozrywki i przeznaczone dla masowego odbiorcy. Na podstawie źródeł wyciągam wniosek, że *Sissi* to melodramat historyczny (Marszałek 1984).

ciekawej opowieści historycznej, lecz niemożliwe staje się wprowadzenie najważniejszych elementów w pracy historyka – oceny źródeł, logicznego rozumowania czy systematycznego badania dowodów. Film może przenosić „żywy portret” przeszłości, ale jego nieściśności i uproszczenia są dla poważnego uczonego praktycznie nie do „skorygowania”. Przedstawienie historii w filmie, zawsze będzie wywoływać niedosyt profesjonalnego historyka (Rosenstone 2008: 94-100).

Prawda w filmie jest pojęciem względnym, niejednokrotnie manipuluje się nią, aby wzbudzić sensację, wpisuje bohatera w kanon powszechnie obowiązujących norm. Historia w filmie musi trzymać się pewnych określonych standardów, które powinny być zgodne z możliwościami medium. Bo to, co widzimy na ekranie nie jest przeszłością, a jedynie jej imitacją (Rosenstone 2008: 94-107).

Film może obudzić w widzu żądzę wiedzy, stać się pretekstem do dyskusji czy do dalszego zagłębiania się w temacie. Mamy przecież do czynienia z quasi - realnymi sytuacjami, ale quasi - realny charakter filmowych orzeczeń o historii nie przekreśla ich wartości poznawczych (Guynn 2010: 13-14).

Ostatecznie historia pojawia się w filmach gatunkowych, w których jest tylko tłem, w których ważniejsze są zasady obowiązujące dany gatunek. Taką ekranową historię Rafał Marszałek nazwał filmową pop-historią (Marszałek 1984: 132-133).

### 2.1 *Sissi* to nie biografia Cesarzowej Elżbiety

„Klasyczne filmy historyczne odpowiadać mogą na potrzeby propagandowe lub ideologiczne, wyrażają współczesność – jej szowinistycznego czasem ducha, jej szczególną potrzebę autorytetu” (Marszałek 1984: 30-46). Oglądając film<sup>1</sup> *Sissi*, miejmy świadomość, że nie został on sklasyfikowany jako film historyczny, masowa widownia oczekuje, bowiem potwierdzenia wyobrażeń historycznych. Filmowe historie wywoływać miały nie tylko przyjemność, czy oddziaływać propagandowo. Miały leczyć narody z kompleksów<sup>2</sup>. Widz poszukuje w filmie rozpowszechnionych mitologii, które wpasują się w jego horyzont oczekiwań (Marszałek 1984). Oglądając nasze źródło analizy, widzimy i wyciągamy wnioski, jakie oczekiwania mieli widzowie w 1955 r., widzimy także, co w danym czasie było modne. *Sissi* miała po prostu się podobać, spełniać oczekiwania młodych dziewcząt. Była tylko dobrą inspiracją, a imię celowo zostało sparafrazowane. Bez wątplenia, film ten zmitologizował postać cesarzowej, która stała się ulubienicą tysięcy widzów. Jej losy mieszczą się w zbiorze naszych ogólnych wyobrażeń i przeświadczeń o przeszłości. Historia Sisi stała się zaledwie pretekstem do rozpoczęcia opowiadania, a fakty z jej życia zostały zmanipulowane tak, że potrzebowalibyśmy sprostowania historyków we wstępie opowieści.

### 2.2 Historia rozprawia się z wizją reżysera

Elżbieta Amalia Eugenia von Wittelsbach<sup>3</sup> urodziła się w 1837 r. w rodzinie księcia Maksymiliana Bawarskiego (młodsza linia Wittelsbachów). Jej matka, Ludwika, księżniczka wywodziła się ze starszej linii dynastii, była córką pierwszego króla Bawarii. Elżbieta, zwana Sisi, dorastała wśród siedmiorga rodzeństwa, z daleka od rygorów życia dworskiego. Świetnie jeździła konno, pływała, łowiła i wspinała się. Z uwielbieniem oddawała się także ćwiczeniom gimnastycznym (Fedor 2010: 58), co było wówczas niepopularne, zwłaszcza wśród księżniczek. Ćwiczenia miały wspomóc jej dietę, na której pozostawała do końca życia. Sisi z lubością paliła papierosy w tajemnicy przed cesarzem. Młoda cesarzowa nie była dobrze wykształcona, mówiła dialektem bawarskim i podobnie jak ojciec nie przestrzegła dworskiej etykiety (Hamann 1999: 17).

---

<sup>1</sup> Po sukcesie pierwszej części powstały kolejne (1956 r. – *Sissi – młoda cesarzowa*, 1957 r. *Sissi – losy cesarzowej*).

<sup>2</sup>Np. film *Henryk V* (1943 r.) Oliviera Laurence’a, opowiada o zwycięskiej bitwie pod Azincourt. Film ten pojawił się na ekranach wraz z lądowaniem aliantów w Normandii (<http://www.film.com.pl>).

<sup>3</sup>Przez rodzinę zwana Sisi. Sissi – to prawdopodobnie wytwór reżysera ekranizacji. W pierwszych źródłach pojawia się jako Sisi, jak i w głównej biografii (Hamann 1999: 35).

W ekranizacji *Sissi* przedstawiono jako uroczą dziewczynę, która włada językiem angielskim<sup>1</sup> i francuskim. Filmowa cesarzowa jest szczupła, nie chuda<sup>2</sup> (wazyła 47 kg przy wzroście 172 cm, obwód w talii – to 47 cm), jest też zdecydowanie niższa od męża, co było nieprawdą. W XIX w. nawet władcy mieli problemy z użębieniem. W listach arcyksiężnej Zofii zawarte są opisy żółtych zębów Elżbiety, które ponadto były bardzo krzywe i słabe (Hamann 1999: 57-58). Zrozumiałe jest pominięcie tego faktu w filmie (Marsichka 1955). W melodramatach kobiety odgrywają role „pięknych obiektów do oglądania”, mają zadowolić wizualnie męskie grono widzów. Ciała kobiet, uroda, idealizm są częścią spektaklu, kobiety są uprzedmiotowiane, dlatego ta skaza na urodzie cesarzowej nie została w filmie przedstawiona (Stachówna 2001: 20). Prawda kłóciłaby się z koncepcją melodramatycznego filmu.

Księżna Ludwika – matka Sisi kochała swoją starszą siostrę arcyksiężną Zofię. Cieszyła ją też perspektywa wydania najstarszej córki za cesarza. Była pokorna wobec siostry i bała się dworu wiedeńskiego. Sama była nieszczęśliwa w małżeństwie. Wiadomości czerpała z kalendarzy misyjnych, a o polityce męża nie miała pojęcia. Rodzina postanowiła wydać ją za Maksymiliana, który przeżywał nieszczęśliwą miłość do kobiety z ludu. Ludwika pierwszy rok małżeństwa przeplakała, z czasem nauczyła się jednak tolerować wysoki i przygody męża (Hamann 1999: 57-58). W filmie Ludwika to szczęśliwa żona. Przedstawiono ją jako wiejską kobietę, która dobrze czuje się wśród arystokracji. Jej małżeństwo z księciem Maksymilianem wygląda na udane, szczęśliwe. Sissi niejednokrotnie będzie tęsknić za domowym ogniskiem (Marsichka 1955).

Księżę Maksymilian – ojciec Sisi był oczytany, wiele podróżował, interesował się sztuką (Dickinger 2006: 36). Wyrażał otwarcie demokratyczne poglądy. Nie przestrzegał etykiety, otaczał się mieszczańskimi uczonymi i artystami. Księżę Maksymilian nie toczył prawie rodzinnego życia. W południe nie było go dla nikogo, zwłaszcza dla żony i ośmiorga dzieci, o tej porze spożywał bowiem obiad w towarzystwie swoich dwóch nieślubnych córek (Hamann 1999: 24-25). Filmowy Maksymilian to kochający ojciec ślubnych dzieci, kompan leśnych spacerów Sissi. Nie przestrzega dworskiej etykiety, jest człowiekiem nieokrzesanym, trochę prostym, lubiącym się bawić i pić. Nie wygląda na człowieka czytanego, odwiedzają go wieśniacy (Marsichka 1955).

Filmowa Sissi dorastała w domu przepelnionym miłością. Różniło się to od rygorystycznego życia młodego Franciszka, który młodość spędził z apodyktyczną matką i głupkowskim ojcem. Taki kontrast jest doskonałym usprawiedliwieniem dla niewinności Elżbiety i niemożności zaakceptowania małżeńskiego – cesarskiego rygoru. Taki kontrast jest niezwykle ważny i wskazany w melodramatach. Beztroskie wychowanie Elżbiety wpłynęło na szczerość charakteru, który wywołuje u widza uczucie sympatii. Mamy wrażenie, że po ślubie Elżbieta zostaje zamknięta w złotej klatce.

### 3. Życie na dworze

Franciszek Józef wstąpił na tron w czasie Wiosny Ludów, po abdykacji psychicznie chorego stryja, cesarza Ferdynanda I, i zrzeczeniu się sukcesji pozbawionego ambicji ojca - arcyksięcia Franciszka Karola<sup>3</sup>, który w ekranizacji pełni rolę „głupca” (Madej 1994: 36). Franciszek Karol to zabawny, niedosłyszający staruszek, który nadużywa alkoholu. Wątek ojca cesarza wprowadza zabawne sytuacje, które mają na celu rozśmieszenie widza, jest on bowiem postacią komiczną (Marsichka 1955). W rzeczywistości ojciec cesarza był niezdarny, nieśmiały, dobronudny i nieszczególnie przystojny. Kochał Zofię, którą obsypywał podarunkami i listami. Decyzja o zrzeczeniu się praw do tronu podyktowana była polityką i złą sytuacją w cesarstwie austriackim. Młody cesarz miał mieć lepszy wpływ na poddanych (Hamann 1999: 2-13).

Arcyksiężna Zofia była osobą powściągliwą i ambitną, często nazywano ją „jedynym mężczyzną w cesarstwie” (Dickinger 2006: 13-15). W filmie nie pominięto tych charakterystycznych cech, a nawet je uwydatniono. Pokazano ją jako typową teściową, która w sposób bezwzględny dąży

<sup>1</sup>Znała tylko angielski, używała go jako kodu z siostrą (Hamann 1999: 89).

<sup>2</sup>W filmie zajada się golonką, rzeczywiście jadła tylko chude mięso. Cesarzowa lubiła piwo, co w filmie uwzględniono (Dickinger 2006: 45).

<sup>3</sup>Ślub Franciszka Karola z Zofią to efekt postanowień kongresu wiedeńskiego (Van Der Kriste 2006: 13).

do utrzymania monarchii i przestrzegania zasad dworskiej etykiety (Marsichka 1955). W rzeczywistości także pragnęła dobra monarchii. Realna Zofia dbała o swoje dzieci, nie zapominała jednak o tym, iż żyje na dworze cesarskim. To dla dobrego imienia cesarstwa upominała Elżbietę. Cesarzowa bowiem, nie może pozwolić sobie na chwile słabości (Dickinger 2006: 20-22). Filmowa Zofia sztywno trzyma się etykiety. Między nią a młodą cesarzową dochodzi do konfliktów, których podłożem było wychowanie i etykieta. Oschłość, apodyktyczność, surowość i nieugięte Zofii, sprawiły, że Sissi staje się ofiarą, którą ostatecznie rozdzielono dzieckiem (Marsichka 1956).

Historyczny Franciszek Józef panował samodzielnie i w sposób absolutny. Doradcy nie pozwolili mu na zbyt łagodne ruchy wobec społeczeństwa, co kłóciło się z jego sumieniem. Był przy tym bardzo nieśmiały, co potęgowało uczucie chłodu wobec młodego władcy. Decyzje o wieszaniu buntowników nie mogły mu też przysporzyć sympatii poddanych. Filmowy Franciszek to uosobienie dobroci, mądry władca, który liczył się ze zdaniem matki, ale bez jej całkowitej dominacji. Podejmuje sam ważne decyzje, które nie raniłyby poddanych. Wygląd samego cesarza jest isticie bajkowy, cudowny książę z blond włosami, szarmanckim uśmiechem, wyprostowaną sylwetką, wygląda niczym książę z *Kopciuszka*. Posiada także bajkowe cechy, jest romantyczny, czuły, wrażliwy. To uosobienie ideału, który spodobać się może każdej kobiecie (Dickinger 2006: 32-36).

Zaręczyny to kwintesencja polityki XIX w. Dla Zofii nie liczyły się uczucia syna, lecz polityka. Austria po Wiośnie Ludów przyjęła opcję zdecydowanie niemiecką. Zofia starała się, aby Austria pozostała główną siłą w Związku Niemieckim i była nadal przeciwwagą dla Prus. Małżeństwo mogło stać się doskonałą szansą na realizację tego planu. Zofia zwróciła się do swojej siostry Ludwika, gdyż Bawaria, obok Saksonii, była najwierniejszym partnerem Austrii w Związku Niemieckim. Helena była od młodych lat starannie przygotowywana do roli księżniczki, co tym bardziej odpowiadało arcyksiężnej i to ona miała być początkowo żoną Franciszka (Hamann 1999: 19)

Filmowe matrymonialne plany Zofii wobec syna przedstawione zostały skrótowo, Franciszek pomimo niezadowolenia godzi się na decyzję matki. Nie wspomina się także o miłosnych podbojach młodego Franciszka, który już od 14 roku życia spotykał się z kobietami (Van Der Kriste 2006: 32).

Przyszła para Franciszek Józef i Sisi poznała się w letniej rezydencji w Ischl. Elżbieta zabrana została do Ischl, aby zapomnieć o Ryszardzie S. Poza tym chciano ją zeswatać z bratem Franciszka. Ludwika, Helena i Elżbieta przybyły do rezydencji w czarnych sukniach, gdyż miały żałobę po ciotce. Podczas podróży wyprzedziły bagaże i to właśnie czarny kolor zdecydował o tym, że Elżbieta zostanie cesarzową. Helena w żałobnej kreacji wyglądała niekorzystnie – surowo, Sisi natomiast czarna kreacja, zapięta pod szyją, nie odebrała uroku. Pierwsze spotkanie odbyło się przy prywatnej herbatce, wtedy to młody cesarz zakochał się od pierwszego wejrzenia w młodej Elżbiecie. Sisi była przerażona pozycją Franciszka, wiedziała jakie obowiązki spoczywają na cesarzu i przyszłej cesarzowej. Świadoma była także, że nie została adekwatnie przygotowana do roli jaką miałyby pełnić. Te przeciwwskazania nie mogły stać się przeszkodą w zawarciu związku małżeńskiego, gdyż Elżbieta nie mogła odmówić Franciszkowi (Hamann 1999: 22-31).

Romy Schneider – filmowa Elżbieta, poznaje cesarza podczas łowienia ryb. Franciszek wjeżdżając na most zaplątał się w żyłkę z wędki Sissi, wtedy ona pomaga mu w uwolnieniu. Cesarz jest zachwycony urodą młodej dziewczyny, nie wie, że to siostra wybranej dla niego żony. Młody Cesarz zakochuje się w Sissi od pierwszego wejrzenia (Marsichka 1955).

Podczas balu młody cesarz zatańczył z Sisi i to jej wręczył kotylion i bukiet, wybierając ją na małżonkę<sup>1</sup>. Elżbieta nie pojęła tego tradycyjnego znaku, była zażenowana i nie wiedziała jak się zachować. Zofia przyjęła wybór syna bardzo łagodnie, stwierdziła, że nie ma dla niej różnicy, z którą z sióstr Franciszek się ożeni. Franciszek musiał poprosić o wyrażenie zgody na ślub tylko ciotkę Ludwikę, która wątpiła, że małżeństwo to będzie odpowiednie dla tak młodej dziewczyny (Hamann 1999: 29-33).

---

<sup>1</sup>W listach Zofia pisze, że Sisi była nieśmiała, urodziwa i świeża, nie wspomina o złym wychowaniu (Hamann 1999: 23).



Po zaręczynach Elżbietę poddano przyspieszonej edukacji – musiała opanować języki, francuski i włoski. Początkowo Elżbieta nie miała powodów uskarżać się na teściową, ta obdarowywała ją nawet prezentami. W listach do siostry w Saksonii nigdy nie krytykowała Sisi, chwaliła każdy drobiazg, który uważała za pozytywny – głównie skromność i nieśmiałość dziewczyny. Sisi za to podziwiała niespożytą energię matki cesarza (Hamann 1999: 37).

W ekranizacji konflikt synowa – teściowa toczył się od początku. Zofia nie tolerowała nieokrzesania i braku wychowania u Sissi. Zofia starała się wymóc na dziewczynie przestrzeganie surowego ceremoniału dworskiego (Marsichka 1955). Takie przedstawienie Zofii, nie mogło wywołać sympatii u widza. Arcykسیężna jest doskonałym wcieleniem wszystkich złych królowych, które znęcają się nad „biednymi ukochanymi księżat”. Sissi jest nam bliższa i współczujemy jej.

Ślub młodej pary odbył się w 1854 roku we Wiedniu. Franciszek wspominał o trudnościach finansowych związanych z ceremonią<sup>1</sup>. Filmowy ślub cesarskiej pary jest zwieńczeniem cudownej miłości, kończy część pierwszą w sposób iście bajkowy, cesarzowa w cudownej białej sukni Franciszek w tradycyjnym mundurze przysięgają sobie miłość ku radości poddanych. Z okazji ślubu historyczny Franciszek pojednał się z uczestnikami Wiosny Ludów<sup>2</sup>.

W kolejnych częściach reżyser coraz dalej odbiega od wizerunku zawartego w biografiiach. W rzeczywistości cesarzowa miesiącami cierpiała na napady kaszlu i lęki klaustrofobiczne, co miało podłoże psychiczne. Między małżonkami dochodziło do wojen o drobiazgi. Dodatkowo doszło do konfliktu z arcyksiężną Zofią, królowa matka chciała wymóc na Sisi zachowanie godne cesarzowej. Elżbieta dopiero w późniejszych latach zrozumiała, że postępowanie Zofii nie wynikało ze złośliwości, gdyż miała ona jak najlepsze intencje, lecz metody były uciążliwe, a sposób życia szorstki (Marsichka 1956). Cesarz natomiast nie wychodził z gabinetu.

Marischka skupił się głównie na miłości bajkowej Franciszka i Elżbiety, którego nieodzownym elementem jest konflikt teściowa – synowa. Trop ten kontynuowany jest we wszystkich częściach trylogii. Franciszek Józef – władca idealny, kocha Elżbietę miłością bezgraniczną. Takie ujęcie życia cesarskiej pary jest nadużyciem, gdyż już na początku małżeństwa pojawiały się kryzysy (głównie ze strony Sisi), które najbardziej uwidoczniły się podczas choroby cesarzowej. W filmach wykorzystano wszystkie ważne – romantyczne – wątki z życia cesarskiej pary. Inne wątki były także zniekształcane i przerysowywane, nie posiadały często odzwierciedlenia w rzeczywistym czasie historycznym. Filmowa cesarzowa jest uwielbiana przez poddanych, cesarz zmienia się pod wpływem uczucia, niestety tych faktów historia nie obrazuje tak pozytywnie. Franciszek Józef długo starał się, zanim zdobył sympatię tłumów, jego ślub wywołał nadzieję, ale to polityka pokojowa przyczyniła się do sukcesu (Hamann 1999).

Życie uczuciowe stało się główną materią filmu. Pominięto realizm postaci. Polityka stała się natomiast tłem i wstępem do nowych wątków.

#### **4. Wnioski końcowe: Melodramat, który wygrał nad historią**

Film *Sissi* to melodramat historyczny skierowany do specyficznej grupy odbiorców. Ten gatunek nie zobowiązuje reżysera do obrazowania rzeczywistych faktów. Można wnioskować, że samą postać Elżbiety wykorzystano, po to, aby wspomóc potrzebę wielkiego widowiska. Społeczeństwo lubi romantyczne historie, a „prawdziwa” księżniczka, może tylko wzbogacić ten obraz. Widz ma wrażenie, że uczestniczy w historii, którą poznaje. Rzeczywistość okazuje się jednak inna, obserwator bierze udział parodii historii, którą stworzył dla niego reżyser.

*Sissi* to superprodukcja, a superprodukcje wydobywają zabytki przeszłości ze staraniem o ich atrakcyjne przedstawienie. Do wzoru produkcyjnego przystosowany zostaje także pejzaż historyczny, przyległy do najbardziej czytelnych schematów narracyjnych (Marszałek 1984). Dlatego Cesarz przedstawiony został jako dobry władca, który rozumie poddanych, kocha bezgranicznie żonę, pragnie pokoju i szczęścia poddanych. Nie wspomina się o absolutyzmie, wyrokach śmierci czy trudnościach gospodarczych (Helmann 2009: 60).

<sup>1</sup>W 1848 r. cesarz Ferdynand Dobry w czasie abdykacji zachował cały cesarski majątek. Sytuacja ta trwała do śmierci Ferdynanda w 1875 r. (Hamann 1999: 46).

<sup>2</sup>Informacja ta zawarta została także w ekranizacji (Marsichka 1956).

„Melodramat był – i jest – przede wszystkim spektaklem”. Twórcy tego gatunku wykorzystywali cały potencjał widowiskowy, bogactwo cesarskie, aby wywołać złudzenie rzeczywistości. Ten element „pełnił przede wszystkim funkcję magiczną, potęgował fantazmatyczność przedstawianej rzeczywistości”. Wszelkie imitacje życia miały wywoływać wrażenie, zaspokajać potrzebę złudzenia (Helmann 2009: 60).

Trylogia *Sissi* jest w pełni nasycona elementami wizualnymi, które wprowadzają pewien dystans pomiędzy widzem a bohaterami. Widz odczuwa społeczną pozycję bohaterów, pozycja ich zostaje w pewien sposób udokumentowana. Osoba śledząca wydarzenia przedstawiane na ekranie, może przeżyć wielkie wrażenie zaspokajając swoje marzenia, skojarzenia. Nie ma tu miejsca na wyobrażeniowe braki, które zrodzić mogłyby się po poznaniu cesarzowej i cesarza. Elżbieta żyje w bajkowym otoczeniu, widzimy ją w najróżniejszych kreacjach, ma najbardziej wyszukane fryzury. Gdy na pierwszym planie pojawia się przepych, mamy świadomość, że w akcji zobaczymy kogoś z cesarskiej rodziny.

Niedostępność, spełnienie wyobrażeń pozwalają odbiorcy odczuć i utożsamić się z bogactwem przedstawianej rzeczywistości, która choć niedostępna, wyzwolić może proces „projekcji – identyfikacji”, który angażuje uczuciowo widza. Uczuciowość ta wyraża się w wizualnej przyjemności, niekonfliktowości (w zestawieniu cesarska para a środowisko) i wzbudzaniu zachwyty.

Melodramat stwarza także wizję złudzenia, które nie musi w pełni upodabniać się do rzeczywistości, czy idealnie odwzorowywać wydarzeń historycznych. Wydarzenia te mogą rozgrywać się w wydłużonym czasie (zestawiając to z innymi wątkami), dzięki temu zabiegowi obserwator może w pełni zaspokoić swoje zapotrzebowanie estetyczne na wydarzenia wielkiej rangi.

Marischka wybrał *Sissi* na bohaterkę swojego filmu, dlatego że splendor tej postaci wyodrębnia się jako samoistna wartość obrazu. Widzowie lubią przeżywać i bratać się z wybranymi postaciami historycznymi. Im postać bardziej znana, tym większa satysfakcja widza (Helmann 2009: 62). Postać *Sissi* była doskonale znana w Austrii, jej tragiczne życie interesowało wielu, ekranizacja ta mogła być holdem dla cesarzowej, jak i wspomnieniem z czasów wielkiego cesarstwa. Widz natomiast ma dwie drogi – od początku zdaje sobie sprawę z konwencji filmu, chce zobaczyć jak tym razem przedstawiono tę historię, albo zapomni o realnych postaciach i będzie oglądał film o wielkiej miłości.

## 5. Bibliografia

- Dickinger Ch (2006) Franciszek Józef I, Świat Książki, Warszawa.
- Fedor D red. (2010) Dynastie Europy. Habsburgowie. Biografie. Herby. Drzewa genealogiczne, Biblioteka Gazety Wyborczej, Agora, Warszawa.
- Guynn W (2010) Przekształcenie historii w filmie. *Kwartalnik Filmowy* 69, 5-30.
- Hamann B (1999) *Cesarzowa Elżbieta*, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa.
- Helman A (2009) *Sissi*. *Kino* 2, 60-62.
- Madej A (1994) *Mitologie i konwencje. O polskim kinie fabularnym dwudziestolecia międzywojennego*, Universitas, Kraków.
- Marischka E reż. (1955) *Sissi*, Austria.
- Marischka E reż. (1956) *Sissi – młoda cesarzowa*, Austria.
- Marischka E reż. (1957) *Sissi – losy cesarzowej*, Austria.
- Marszałek R (1984) *Filmowa pop – historia*, Wydawnictwo Literackie, Kraków.
- Rosenstone RA (2008) *Historia w obrazach/historia w słowach: rozważania nad możliwością przedstawienia historii na taśmie filmowej*. Red Kurz I, *Film i historia*. Antologia, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 93-114.
- Stachówna G red. (1997) *Niedyskretny urok kiczu*, Universitas, Kraków.
- <http://www.film.com.pl>

## **5. Rugia w sieciach handlu hanzeatyckiego w XIII wieku**

Rügen in the Hanseatic trade networks in the 13th century

Tymoteusz Lis

Wydział Historii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Tymoteusz Lis: [tymlis@st.amu.edu.pl](mailto:tymlis@st.amu.edu.pl)

Opiekun naukowy: prof. UAM dr hab. Maciej Dorna

**Słowa kluczowe:** Bałtyk, historia gospodarcza, historia polityczna, średniowiecze

### **Streszczenie**

Początki Ligi Hanzeatyckiej i towarzyszącej jej ogromnej sieci szlaków handlowych, przede wszystkim morskich związane są z procesami integracji natury zarówno politycznej, jak i ekonomicznej, dokonywanej nie tylko drogą czysto dyplomatyczną. W ramach artykułu postarano się przedstawić genezę oraz rozwój powiązań konkretnego nadbałtyckiego terytorium – wyspy Rugii oraz związanych z nią terenów sąsiednich z rodzącym się w tym czasie handlem hanzeatyckim. Poprzez analizę źródeł dołożono starań, aby wykazać, na jakich zasadach i przez jakie czynniki, zarówno te wewnętrzne, jak i zewnętrzne następowało analizowane powiązanie. Wskazano, iż wciąganie Rugii do handlu hanzeatyckiego następowało na wiele sposobów, które ostatecznie sprawiły, iż sama Rugia poprzez związane z nią ośrodki – przede wszystkim Stralsund – uczestniczyła w formowaniu się organizacji, która miała w następnych wiekach zdominować wymianę towarów w basenie Morza Bałtyckiego.

### **1. Wstęp**

Rozpatrując zarówno gospodarcze, jak i polityczne dzieje Bałtyku w średniowieczu, nie sposób pominąć organizacji, która w najbardziej wydatny sposób przyczyniła się do rozwoju tego obszaru. Od samego początku podstawowym celem istnienia Hanzy były właśnie kwestie ekonomiczne (Czaja 2003, s. 161). Miasta skupione w związku, nie tylko zabezpieczały oraz wzmacniały swoją pozycję na rynku, ale również konsolidowały wpływy polityczne w regionie prowadzenia swoich interesów (North 2015, s. 81). Ten polityczno – ekonomiczny tandem z czasem stał się niemal monopolistą w przestrzeni Bałtyku, zabezpieczając sobie na długie lata dominującą pozycję w handlu morskim (Schildhauer 1995, s. 46).

Sukces Hanzy opierał się w głównej mierze na przemysłanej oraz sukcesywnie wykorzystywanej siatce połączeń ze wschodu i północy na zachód Europy i odwrotnie (Hoffmann 2006). Pozwalało to miastom skupionym w związku z jednej strony utrzymywać kontakty z szeregiem odbiorców, co zapewniało sprawny oraz dochodowy obrót towarem, z drugiej natomiast dawało szansę na tworzenie monopolu i utrzymywanie go, co Liga Hanzeatycka wielokrotnie czyniła, zarówno na drodze dyplomacji, jak i akcji militarnych (Nicolle 2017, s. 11).

Na tak zróżnicowany oraz niejednorodny twór ciężko jest spoglądać z jednej perspektywy. Organizacja, która skupiała w swoim największym rozkwicie prawie 200 miast europejskich (Dollinger 1979, s. 357) zawiera w sobie ładunek dziejowy odpowiednio wypełniający wymagania stawiane kolejno przez historię polityczną, gospodarczą oraz społeczną. W ramach tej analizy podjęta zostanie próba przedstawienia wycinka gospodarczej części dziejów związku.

Ze względu na rozległy obszar działań i wpływów Hanzy, zasadnym zdaje się podejmowanie analiz, w których rozpatruje się konkretne regiony Bałtyku. Pozwala to na wartościowanie ich ważności dla utrzymywania przez Ligę dominującej roli w handlu bałtyckim i morskim w ogóle. Jednocześnie umożliwia wskazanie, dlaczego dany obszar był dla związku ważny i jakie podstawy stały za jego obecnością w tworzonych przezeń sieciach handlowych. Oczywiście waga tych regionów różniła się między sobą, sprawiając, iż ze względów nie tylko czysto ekonomicznych, ale

także politycznych, wybijały się z nich przede wszystkim miejsca skupiające najważniejsze miasta hanzeatyckie (Czaja 2003, s. 168).

Poniższa analiza stara się umieścić w tej sieci handlowych powiązań miejsce, które jednocześnie stoi w tym schemacie na uboczu i zajmuje w nim istotną – choć na pierwszy rzut oka nie tak widoczną – pozycję. Mowa tutaj o jednej z największych wysp Bałtyku – Rugii. Jej znaczenie dla handlu hanzeatyckiego można rozpatrywać z wielu odmiennych perspektyw.

Jednocześnie należy zaznaczyć, iż pracę tę trzeba rozpatrywać przede wszystkim jako zasygnalizowanie problemu oraz wstęp do dalszej dyskusji oraz jego bardziej pogłębionego badania. Temat pozycji średniowiecznej Rugii w mechanizmach politycznych oraz gospodarczych basenu Morza Bałtyckiego wymaga uporządkowanego i świeżego spojrzenia, a poniższy wywód można traktować jako staranie przedstawienia jednego z jego aspektów. To także wskazanie, iż wykazuje on potencjał do dalszego analizowania kolejnych problemów badawczych i rozwijania tych już opisywanych.

## 2. Materiały i metody

Niezbędną kwestią pozostaje sformułowanie klarownego celu niniejszego artykułu. Zawiera się on w dwóch kwestiach. Pierwsza z nich to zasygnalizowanie charakteru powiązań handlowych Rugii z szeroko pojętą Hanzą. Pod tą nazwą zbiorczo rozumie się przede wszystkim ośrodki, które współtworzyły związek. XIII wiek to okres, w którym struktury organizacji dopiero powstawały, stąd też konieczność zaznaczenia, iż w badanym przedziale chronologicznym nie można jeszcze mówić o w pełni wykształconej Lidze Hanzeatyckiej, jednak większość badaczy (Nicolle 2017, s. 9-10) rozpatruje XIII stulecie jako czas, w którym można już częściowo mówić o istnieniu Hanzы, co zostanie rozwinięte poniżej. Drugą kwestią jest próba przedstawienia konkretnych elementów tych powiązań. Mowa tu między innymi o namacalnych towarach, którymi Rugia handlowała z miastami hanzeatyckimi lub też, które miasta hanzeatyckie chciały uzyskać poprzez kontakty dyplomatyczne i ekonomiczne z wyspą. Pozwoli to na pełne spojrzenie na badane zagadnienie oraz w pełni wykorzystać używane w ramach analizy dane, zawarte zarówno w materiale źródłowym, jak i w opracowaniach naukowych.

Zgodnie z zadeklarowanymi celami, niezbędne jest zadanie choćby podstawowych pytań badawczych, które można sformułować w następujący sposób:

- a) Na jakich filarach został oparty rozwój Hanzы / miast hanzeatyckich w XIII wieku?
- b) Z którymi miastami hanzeatyckimi Rugia utrzymywała szersze relacje?
- c) Jaką pozycję zajmowały te miasta w handlu bałtyckim w XIII wieku?
- d) W jaki sposób Rugia odciskała swoje piętno w handlu bałtyckim i hanzeatyckim w XIII wieku?

Należy jeszcze dokładnie określić co rozumie się przez pojęcie „Rugia”. W tym przypadku zawiera ono nie tylko wyłącznie tereny wyspy Rugii, ale także ziemie, które w XIII stuleciu były z nią bezpośrednio związane. Są to tereny należące do istniejącego w tym czasie słowiańskiego Księstwa Rugijskiego, a więc część dzisiejszej Meklemburgii i landu o tej samej nazwie (Wichert 2009, s. 10-11).

Specyfika podejmowanego tematu wymaga korzystania z szeregu materiałów, które razem pozwolą przedstawić jak najpełniejszy obraz poruszanego zagadnienia. W swojej podstawowej treści wyniki zostały oparte o analizę materii źródłowej. Wskazuje ona z jednej strony na polityczne konotacje terenów rugijskich z Hanzą i jej strukturami, z drugiej natomiast dają choćby podstawowy ogląd na to, na jakich płaszczyznach osadzono handlowe związki badanego terenu z organizacją. Stanowią one jednocześnie element akcentujący powiązania władztw rugijskich z ekonomiczną machiną wytworzoną na Bałtyku w okresie średniowiecza.

Charakter analizy pozwala na korzystanie z materiałów źródłowych wywodzących się z różnych ośrodków. Stanowią one przede wszystkim element determinujący charakter powiązań handlowych Rugii i związku, powołano się zatem głównie na dokumentację, która w pewien sposób to połączenie otwierała lub też sankcjonowała. Pozwala to na osadzenie narracji na popartym źródłami fundamencie.

Nieodczowna analiza źródeł historycznych w tym przypadku została oparta na źródłach dyplomatycznych, które najlepiej oddają charakter i wprowadzają w szczegóły badanego procesu osadzenia Rugii w schemacie handlowym Bałtyku i Hanzy.

W ramach uzupełnienia materiału i jednoczesnego poparcia stawianych tez oraz wyciąganych wniosków skorzystano z istniejącego dorobku badaczy, którzy mniej lub bardziej bezpośrednio podejmowali tematykę hanzeatycką, lub rugijską. Jest to także kolejna część wykorzystywanych – obok źródeł – materiałów.

### **3. Proces powiązania Rugii z rodzącym się handlem hanzeatyckim**

Fakt powiązania Rugii z rozbudowanym schematem handlu hanzeatyckiego w obszarze Morza Bałtyckiego wynikał z konkretnych czynników oraz procesów, których genezy należy szukać jeszcze w wieku XII. Przyjmuje się, iż ten okres można uznać za początek formowania się podwalin pod późniejszą potęgę organizacji znanej później pod nazwą Hanzy lub też Ligi Hanzeatyckiej (Czaja 2003, s. 168).

Jej powstanie nierozdzielnie należy wiązać z rosnącą pozycją miast niemieckich w tym okresie, które dysponowały zarówno potencjałem natury ekonomicznej, jak i politycznej. W tej nowej układance rolę przewodnią zaczynała grać północnoniemiecka Lubeka, której niezwykle korzystne położenie stanowiło podstawę pod jej przyszły sukces. Lokowane w 1143 roku (Dittrich 2014, s. 18) miasto szybko stało się z jednej strony beneficjentem prowadzonych na wschodzie Europy wypraw chrystianizacyjnych w Prusach i Inflantach (Nicolle 2017, s. 14), z drugiej natomiast sami lubeczanie starali się korzystać z nowo wytyczonych oraz już wcześniej istniejących szlaków w celu ekspansji ekonomicznej.

Podobne podstawy rozwoju można było wykazać także w przypadku innych miast niemieckich, zwłaszcza tych położonych w pobliżu mórz – Bałtyckiego i Północnego. Należy tu wymienić chociażby Hamburg, Bremę, czy miasta nadreńskie, które również korzystały ze swojego położenia i rosnących wpływów (Selzer 2010, s.20-21). W tym czasie jednak nie można jeszcze mówić o wykształceniu się Hanzy jako organizacji, aczkolwiek pierwsze fundamenty pod nią zostały w ten sposób położone.

Przyjmuje się, iż oprócz kwestii ekonomicznych, najistotniejsze w formowaniu się organizacji pozostawały kolejno: rozwój ruchu krucjatowego w Europie w postaci krucjat północnych oraz ruchu chrystianizacyjnego na północnym wschodzie (Nicolle 2017, s. 7), a także przeciwstawienie się coraz silniejszemu i niebezpiecznemu władztwu duńskiemu. Ekspansjonistyczna polityka tego państwa godziła przede wszystkim w pozycję Lubeki, którą ostatecznie także włączono na krótki okres w granice Danii. W tym samym czasie znajdowało się w nim – jako lenno duńskiego króla – Księstwo Rugii rządzone przez słowiańskich książąt (Wichert 2009, s. 21). Dopiero kłeska Waldemara II pod Bornhöved w 1227 roku pozwoliła na pełne uwolnienie się ziem Holsztynu, w tym Lubeki spod bezpośredniego władztwa Danii.

Podkreślanie roli Lubeki w tym procesie jest nieprzypadkowe, ponieważ to właśnie z nią związane jest najbardziej zarówno powstanie Hanzy, jak i powiązanie jej szlaków handlowych z terenami rugijskimi. Jeszcze w XII wieku i w czasie panowania duńskiego, miasto zaczynało wybijać się ponad inne ośrodki pod względem logistycznym, stanowiąc węzeł komunikacyjny dla krzyżowców uczestniczących w krucjatach północnych (Hoffmann 2008). Uruchomienie tych szlaków wiązało się jednocześnie ze zwiększeniem potencjału ekonomicznego, który z każdym rokiem tylko rósł. Lubeka stawała się w ten sposób wzorem dla innych miast (Ziegler 1996), w tym też tych nowo lokowanych, które razem stworzą wydajny łańcuch ośrodków, na których oprze się później potęga Hanzy.

Dopiero pierwsza połowa XIII wieku przyniosła pierwsze poważne epizody, które już realnie można uznać za powstanie Hanzy – wtedy jeszcze w bardzo okrojonej skali. Za jej genezę uznaje się dwa sojusze – między Hamburgiem i Lubeką oraz między Lubeką a Soest. Zwłaszcza ten drugi, zawarty w 1241 roku jest uważany za pierwszy akord związku, który niektórzy badacze nazwali „proto – Hanzą” (Nicolle 2017, s. 10). Dotyczył on ochrony szlaków handlowych tak lądowych, jak i morskich. W kolejnych latach podobne ustalenia były zawierane przez kolejne miasta, powiększając nie tylko zasięg oddziaływań nowo sformowanej grupy, ale także zasób towarów, którymi mogła ona

obrać na rynku europejskim. Niejako na uboczu tych procesów zaczęły także formować się nowe realia panujące między Rugią, konkretniej Księstwem Rugijskim, które jako jedyne z terenów opanowanych wcześniej przez Danię pozostało w jej ramach jako lenno a Lubeką. Ich wspólne działania i decyzje miały wciągnąć słowiańskie władztwo w tworzące się sieci handlowe.

Po klęsce duńskiej pod Bornhöved można zaobserwować wyraźnie zauważalne ożywienie kontaktów na linii Lubeka – Rugia, jednakże pierwsze ustalenia natury handlowej miały miejsce jeszcze w 1224 roku. Wynikały one z rosnącej pozycji miasta, które parło ku dalszemu rozwojowi i ekspansji swoich wpływów. Na takie ustalenia między stronami wpływ miała także zapewne sytuacja Danii, której położenie w tym momencie było co najmniej niekorzystne. Król Waldemar II aż do 1225 roku pozostawał uwięziony przez hrabiego Schwerinu, a ustalenia poczynione w ramach nieudanej mediacji, która przerodziła się następnie w wojnę, spowodowały utratę wpływów na ziemiach północnych Niemiec.

Czując wyraźne rozluźnienie swojej sytuacji, Lubeka zaczęła spoglądać na wschód, widząc w nim idealne miejsce ujścia swoich dążeń ekonomicznych i politycznych. Jednym z owoców tych działań był wydany 14 września 1224 roku dokument ustalający szereg praw dla lubeczan odwiedzających Rugię w celach zarobkowych (LUB II 27). Regulowano w nim między innymi zasady przybywania przedstawicieli miasta na teren władztwa rugijskiego, formy sądenia się, reguły obowiązywania prawa nadbrzeżnego oraz ustalano wysokości cel.

W kontekście badanych powiązań handlowych najważniejsze zdają się jednak dwie kwestie. Pierwszą z nich było zezwolenie na ścinanie drzewa, jakie Wisław I udzielił lubeczanom, wyłączając z niego jedynie tereny łowieckie dzików (LUB II 27). Może to sugerować, iż rugijskie lasy z jednej strony mogły służyć Lubece za źródło budulca do ciągle rozbudowywanej floty, niezbędnej przy jakiegokolwiek ekspansji handlowej, tym bardziej na szerszą skalę, z drugiej natomiast jako surowiec sprzedawany później przez lubeckich kupców dalej. Druga kwestia – dużo istotniejsza w dalekosiężnej perspektywie – dotyczyła praw do połowu śledzi (LUB II 27), które nierozdzielnie związały Rugię zarówno z handlem z Lubeką, jak i szerzej z handlem hanzeatyckim i bałtyckim w ogóle (Wichert 2009, s. 48-49).

Śledzie stanowiły towar flagowy dostępny na Rugii. Lubeka, korzystając z sytuacji zapewniła sobie w ramach opisywanego dokumentu ochronę oraz ustalone zasady obecności statków przeznaczonych do połowu i frachtu śledzi oraz innych ryb tam, gdzie sięgało władztwo księcia Rugii (Osieglowski 1975, s. 67-68). Z czasem śledzie okazały się jednym z najczęściej pojawiających się towarów w Lubece, która stanie się czymś w rodzaju centrum jego obrotu w tej części Europy. W pewnej części zawdzięczała to ustaleniom poczynionym z książętami Rugii. Dokument z 1224 roku był jednak jedynie pierwszym akordem kwestii handlu śledziem, co wynikało z niestabilnej i burzliwej historii lubecko – rugijskiej w I połowie XIII wieku, której echa pojawiają się jeszcze w późniejszych dokumentach.

Ustalono zatem, iż pierwszymi elementami, które potencjalnie wiązały Rugię z handlem hanzeatyckim, były bogate zasoby drewna w mniejszej części oraz śledzia i innych ryb w większej części, które zaważyły na powiązaniu Rugii – przede wszystkim poprzez kontakty z Lubeką – z szerszym obrotem towarami w przestrzeni Bałtyku. Kolejnym punktem zaczepienia w XIII wieku stała się także działalność osadnicza, prowadzona przez samych książąt Rugii. Jej najważniejszym momentem był bez wątpienia 1234 rok, kiedy Wisław I lokował u wejścia na wyspę od strony łądu miasto Stralsund (Wichert 2009, s. 48). Ośrodek już od samego początku pomyślano jako miejsce służące intensywnej wymianie handlowej i korzystaniu z obrotu zasobami wspomnianymi powyżej (Piskorski 1999, s. 75), przede wszystkim rybami. Potwierdzają to nadane przez księcia przywileje handlowe, mające wzmocnić i przyspieszyć rozwój handlu oraz pozycję samego miasta, co okazało się skuteczne (Osieglowski 1975, s. 72-73). Atrakcyjne położenie miasta i korzystne ulgi przyciągały do niego ludność niemieckojęzyczną, przede wszystkim z obszaru Westfalii (Dollinger 1979, s. 26), która obok zamieszkałej już tam wcześniej społeczności słowiańskiej zaczęła tworzyć ze Stralsundu centrum handlu z prawdziwego zdarzenia.

O potencjale nowego ośrodka najlepiej świadczy fakt, iż Lubeka bardzo szybko zaczęła prowadzić działania zmierzające do zdużenia rozwoju miasta (Nicolle 2017, s. 10). Z pragmatycznego punktu widzenia nie było w tym nic dziwnego – przywileje, które Stralsund

uzyskał na połów i obrót śledziem, wyraźnie godziły w pozycję Lubeki wypracowaną jeszcze dziesięć lat wcześniej (Osieglowski 1975, s. 78). Aż do pierwszej połowy lat 50 – tych, siły lubeckie kilkakrotnie napadały oraz paliły miasto (Osieglowski 1975, s. 78-79), wciągając się przez to w otwarty konflikt z księstwem Rugii, co także jednoznacznie wynikało z po raz kolejny fatalnej pozycji duńskiego władztwa, którego stolica – Kopenhaga – została w 1249 roku spalona przez lubeczan (Ziegler 1996, s. 72). Dopiero po ustabilizowaniu się sytuacji w regionie, między Rugią a Lubeką na nowo zapanował pokój, a dążenia miasta nad Trave mające zatrzymać rozwój Stralsundu ustały. Umożliwiło to powrotny rozwój miasta, które w handlu bałtyckim zaczęło zajmować – zaraz po Lubece – główne miejsce na jego południowym wybrzeżu.

Po raz kolejny po 1253 roku, kiedy to w Wismarze podjęto rozmowy pokojowe między Lubeką a Rugią (LUB II 205), można zauważyć umacnianie i utrwalanie się pozycji lubeckiej na obszarze Księstwa w kontekście korzystania z bogatych zasobów ryb. Świadczą o tym zezwolenia z lat 1254 (LUB II 215), 1258 (LUB II 243) oraz 1260 (LUB II 251). Warto zaznaczyć, iż pierwszy z tych dokumentów, gwarantujący lubeczansom utrzymanie zapisów przywileju z 1224 roku na okres jednego roku z możliwością przedłużenia o kolejne sześć miesięcy został okupiony zapłatą poczynioną przez Lubekę na rzecz księcia Jaromara II (Osieglowski 1975, s. 79). Wszystkie z przytaczanych zezwoleń umożliwiały statkom lubeckim na bezpieczną obecność na wodach rugijskich w czasie połowów ryb (Osieglowski 1975, s. 79). Może to oznaczać, iż w pewnym sensie wypracowano konsensus między dążeniami lubeckimi dotyczącymi zmonopolizowania łowisk a potrzebami nadal rosnącego Stralsundu. Niemniej dzięki takiemu obrotowi spraw, powiązanie Rugii z handlem bałtyckim oraz hanzeatyckim odbywało się od tego momentu z dwóch płaszczyzn. Jedną z nich pozostawała – po kilkuletniej przerwie – szeroko pojęta handlowa ekspansja Lubeki w tym także na rugijskie łowiska, która zapewniała – ze względu na ugruntowaną już w tym czasie pozycję miasta nad Trave – możliwość dotarcia do wielu rynków zbytu. Druga wynikała z inicjatywy samego księstwa, które samo chciało zaistnieć w tworzącej się wielkiej sieci połączeń handlowych, lokując i rozwijając miasto Stralsund, które także korzystało z naturalnych zasobów regionu i stanowiło realną konkurencję dla Lubeki oraz innych ważnych miast Meklemburgii, chociażby Wismaru i Rostocku.

Druga połowa, a zwłaszcza koniec XIII stulecia przyniósł ostatni, bodaj najważniejszy element badanych powiązań. Był to już okres, kiedy Hanza, lub jeszcze „proto-Hanza” zaczęła wyraźnie rozszerzać wpływy, wciągając – poprzez różnego rodzaju umowy – do swoich struktur kolejne miasta (Schildhauer 1995, s. 32-33). Wyraźnie wskazywało to drogę, którą obierze organizacja – integrację handlową, a także z czasem polityczną opartą na wspólnych interesach i wynikającej z chęci monopolizacji handlu.

Początkowo tę drogę w basenie Morza Bałtyckiego uniemożliwiały sygnalizowane na przykładzie Lubeki i Stralsundu animozje (Nicolle 2017, s. 11). Ustabilizowanie sytuacji pozwoliło na rewizję tych planów. W 1259 roku zawarto, a pięć lat później wzmocniono umowę między Lubeką a Wismarem i Rostockiem (Czaja 2003, s. 172). Dotyczyła ona ochrony wspólnych statków i szlaków handlowych przed piractwem oraz pokazywała, iż miasta chciały współpracować w przypadku konfliktów z okolicznymi władcami (Nicolle 2017, s. 11), dając w ten sposób przykład do dalszych kroków.

Rugia w nowej rzeczywistości odnalazła się relatywnie późno, ponieważ formalny sojusz między Lubeką, Wismarem, Rostockiem, Stralsundem i Greifswaldem (PUB III 1659) zawarto dopiero w 1293 roku (Osieglowski 1975, s. 101-102). Stanowi on jednocześnie zwieńczenie trwającego niemal przez cały XIII wiek włączania Rugii w struktury rodzącej się w tym czasie już w pełnej krasie Hanzy. Sojusz ten nie tylko ugruntowywał pozycję i wagę Stralsundu jako istotnego miasta, ale także stanowił silny sygnał, iż miasta północnoniemieckie będą stanowić w całym łańcuchu handlowych szlaków na obszarze Bałtyku dominującą siłę. Te sojusze będą już w niedługim czasie wystawiane na próbę przez większe władztwa, jednakże wspólne cele oraz chęć utrzymania pozycji ekonomicznej sprawi, że pomimo niedogodności przetrwają one i w XIV wieku ewoluują już w pełną formę Ligi Hanzeatyckiej (Dollinger 1979), skupiającej większość ważnych miast nadbałtyckich i nie tylko, kontrolując przy okazji handel na tym terenie. Jednym z istotniejszych obszarów koncentracji siły ekonomicznej organizacji będzie właśnie Rugia.

#### **4. Wnioski**

Poczyniona analiza pozwoliła na przedstawienie najważniejszych czynników wiążących Rugię i związane z nią tereny z rodzącym się w XIII stuleciu schemacie powiązań handlowych tworzonych przez ośrodki, które ostatecznie doprowadziły także do sformowania pełnej i dojrzałej formy Hanzy. Wynikające z tych kwestii zależności pozwoliły Rugii na bierne uczestnictwo w wielu procesach decyzyjnych, co potwierdza materia źródłowa.

Analiza postawionego problemu pozwoliła także odpowiedzieć na postawione wcześniej pytania. Udało się wykazać, iż rozwój Hanzy, a także miast, które miały ją stworzyć, opierał się zasadniczo na dwóch kwestiach – chęci poszerzania kontaktów handlowych w celu zwiększania swojej ekonomicznej siły oraz stworzenia politycznej przeciwwagi dla istniejących władztw nadbałtyckich. Sama Rugia mogła w tym mechanizmie zaistnieć dzięki parciu Lubeki na te tereny i znajdujące się tutaj zasoby naturalne, co poskutkowało powstaniem szeregu umów handlowych, a w konsekwencji wciągnięciem terenów rugijskich do handlu bałtyckiego. Udowodniono również, iż sama Rugia, a konkretnie Księstwo Rugijskie odcisnęło piętno na rozwoju handlu i Hanzy poprzez lokowanie miasta Stralsund, które z czasem nie tylko przestano traktować jako bezpośrednią konkurencję dla Lubeki i innych miast Meklemburgii, ale także włączono jako pełnoprawnego sojusznika w rodzące się dojrzałe struktury organizacji.

Choć XIII wiek można uważać – zwłaszcza w kontekście badanych zagadnień – za okres dość „płynny”, nie ulega wątpliwości, iż to właśnie sygnalizowane procesy i ustalenia podłożyły podwaliny pod wielki rozwój dojrzałej formy Hanzy w wieku XIV. Jest to oczywiście jedynie wycinek jej dziejów w tym okresie, jednak jest to jednocześnie wycinek ważny, ponieważ najdobitniej można na jego przykładzie wykazać jakie wartości oraz procesy determinowały formowanie się sojuszy oraz umów handlowych, które ostatecznie pozwoliły na opanowanie Bałtyku przez flotę i kupców hanzeatyckich, w tym także tych, którzy związani byli z Rugią.

#### **5. Literatura**

- Czaja R (2003) Hanza.  
Dittrich K (2014) Lübeck. Kleine Stadtgeschichte.  
Dollinger P (1979) Dzieje Hanzy (XII – XVII wiek).  
Hoffmann E (2006) Lübeck und die Erschließung des Ostseeraums.  
Hoffmann E (2008) Lübeck im Hoch- und Spätmittelalter.  
Nicolle D (2017) Siły Hanzy od XIII do XV w.  
North M (2015) The Baltic: a history.  
Osiegiński J (1975) Polityka zewnętrzna Księstwa Rugii (1168 – 1328).  
Schildhauer J (1995) Dzieje i kultura Hanzy.  
Selzer S (2010) Die mittelalterliche Hanse.  
Topolski J (1968) Metodologia historii.  
Wehrmann C (wyd. 1843) Urkundenbuch der Stadt Lübeck (LUB).  
Wichert S (2009) Rügens Mittelalter und Frühe Neuzeit 1168 – 1648.  
Ziegler U (1996) Die Hanse.



## **6. Numeryczna symulacja zginania polimerowych kompozytów warstwowych wzmocnionych włóknami szklanymi i węglowymi**

Numerical simulation of bending of polymer layered composites reinforced with glass and carbon fibers

Jodłowiec Tomasz<sup>(1)</sup>, Marszałek Jerzy<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

<sup>(2)</sup>Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Katedra Podstaw Budowy Maszyn, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

Opiekun naukowy: dr inż. Jerzy Marszałek

Marszałek Jerzy: jmarszalek@ath.bielsko.pl

**Słowa kluczowe:** kompozyty polimerowe, test zginania trzypunktowego, makroskalowy model MES

### **Streszczenie**

W artykule, z wykorzystaniem metody elementów skończonych, przeprowadzono symulacje trzypunktowego zginania dwóch laminatów wzmocnionych odpowiednio włóknami szklanymi i węglowymi. Celem symulacji numerycznych było sprawdzenie z jaką dokładnością model makroskalowy odwzorowuje sztywność laminatów w warunkach obciążenia zginającego. Jednokierunkowy laminat GFRP został wykonany z dziesięciu warstw jednokierunkowej modułowej tkaniny rovingowej z włókien szklanych. W przypadku dwukierunkowego laminatu CFRP zastosowano osiem warstw tkaniny rovingowej z włókien węglowych o splocie płóciennym. Próbkę laminatów zostały zamodelowane na poziomie makroskalowym wykorzystując dwuwymiarowe elementy skończone. Stałe inżynierskie laminatów wyznaczono za pomocą specjalnego modułu dostępnego w programie do analiz metodą elementów skończonych. Wyniki symulacji zginania trzypunktowego próbek laminatów GFRP i CFRP zostały porównane z wynikami badań doświadczalnych. Uzyskano dużą efektywność obliczeniową i dobrą zgodność wyników symulacji z wynikami badań doświadczalnych.

### **1. Wstęp**

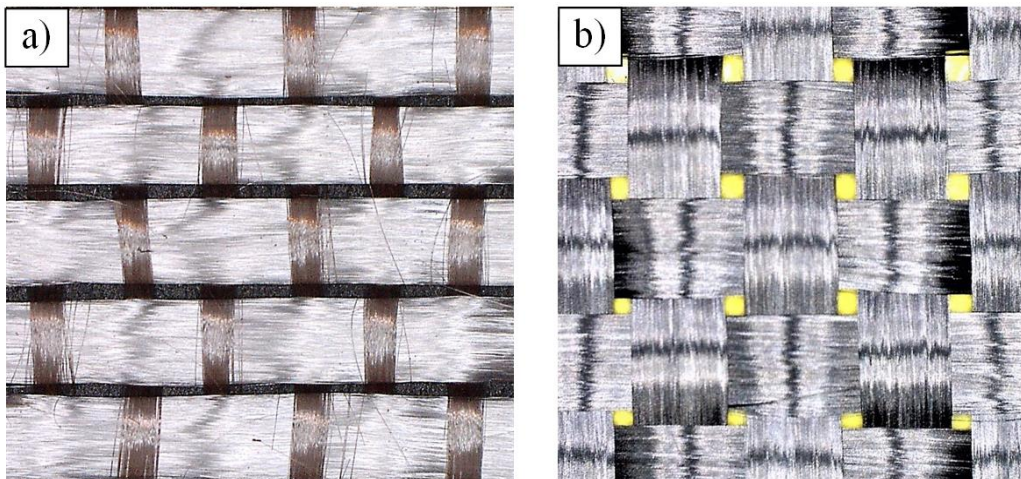
Polimerowe kompozyty warstwowe (laminaty) wzmocniane włóknami szklanymi (GFRP, ang. *Glass Fiber Reinforced Polymer*) i węglowymi (CFRP, ang. *Carbon Fiber Reinforced Polymer*), z uwagi na atrakcyjne właściwości mechaniczne, znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach przemysłu w projektowaniu lekkich i wytrzymałych konstrukcji inżynierskich. Laminaty charakteryzują się dużą wytrzymałością na rozciąganie w kierunku włókien, co w połączeniu z relatywnie małą gęstością pozwala osiągać dużą wytrzymałość względną (Ekşi i Genel 2017). W projektowaniu konstrukcji kompozytowych powszechnie stosuje się metodę elementów skończonych, przy czym laminaty można modelować na trzech poziomach dokładności (Bednarzyk i in. 2015). Na poziomie mikroskalowym uwzględnia się najmniejsze elementy mikrostruktury laminatu (m.in. pojedyncze włókna, matrycę polimerową, rodzaj splotu tkaniny, połączenie adhezyjne między włóknami i matrycą). Modele mikroskalowe nie są wykorzystywane w modelowaniu konstrukcji kompozytowych z uwagi na dużą liczbę stopni swobody i małą efektywność obliczeniową. Na poziomie mezoskalowym w sposób uproszczony uwzględnia się mikrostrukturę laminatu, przez co modele są efektywniejsze numerycznie. W przypadku modeli mezoskalowych często wymagane jest opracowanie specjalnego preprocesora wspomagającego proces modelowania (Marszałek, Stadnicki i Danielczyk 2020). W praktyce inżynierskiej, w projektowaniu konstrukcji kompozytowych najczęściej wykorzystuje się modele makroskalowe, w których nie uwzględnia się mikrostruktury wewnętrznej laminatu na poziomie komponentów – wzmocnienia i matrycy. Modele makroskalowe charakteryzują się najlepszą efektywnością

numeryczną, ponieważ są najczęściej budowane przy użyciu dwuwymiarowych, czterowęzłowych elementów skończonych. Zastosowanie modeli makroskalowych w praktyce inżynierskiej, pomimo zadowalającej efektywności numerycznej, wymaga przeprowadzenia weryfikacji doświadczalnej wyników symulacji, ponieważ modele makroskalowe bazują na licznych założeniach upraszczających. Przede wszystkim modele makroskalowe nie uwzględniają mikrostruktury laminatu na poziomie włókien i matrycy oraz nie uwzględniają rodzaju splotu tkaniny wzmacniającej. Ponadto są budowane w oparciu o klasyczną teorię laminacji, zgodnie z którą odkształcenia przebiegające po grubości laminatu są ciągłe i nie występują poślizgi między warstwami. Przykładowe symulacje numeryczne z wykorzystaniem modeli makroskalowych, które są opisane w literaturze (Stadnicki i Tokarz 2016; Vinšova i Urban 2017); wskazują, że błąd względny wyników symulacji może sięgać nawet 30%. Dlatego w ramach niniejszego artykułu przeprowadzono symulacje zginania trzypunktowego próbek laminatów GFRP i CFRP zamodelowanych na poziomie makroskalowym. Wyniki symulacji zostały zweryfikowane doświadczalnie. Celem badań było sprawdzenie dokładności modeli makroskalowych w modelowaniu laminatów w warunkach zginania trzypunktowego.

## 2. Materiały i metody

### 2.1 Przygotowanie próbek laminatów GFRP i CFRP

Jednokierunkowy laminat GFRP został wykonany z dziesięciu warstw jednokierunkowej tkaniny rovingowej z włókien szklanych (Rys.1a). Z kolei dwukierunkowy laminat CFRP został wykonany z ośmiu warstw rovingowej tkaniny węglowej o splotie płóciennym (Rys.1b). W przygotowaniu próbek (Rys.2) wykorzystano żywicę MGS® LR 285 i utwardzacz MGS® LH 285 wymieszane w proporcji wagowej 100:40. Próbki zostały wykonane metodą laminowania ręcznego w specjalnym foremniku z pokrywą dociskową wywierającą nacisk na laminat o wartości 0.01 MPa. Próbki utwardzono najpierw w temperaturze pokojowej (24 godziny) a następnie w temperaturze 80°C (5 godzin). Podczas laminowania wszystkie warstwy wzmocnienia w laminatach GFRP i CFRP były układane w jednej orientacji.

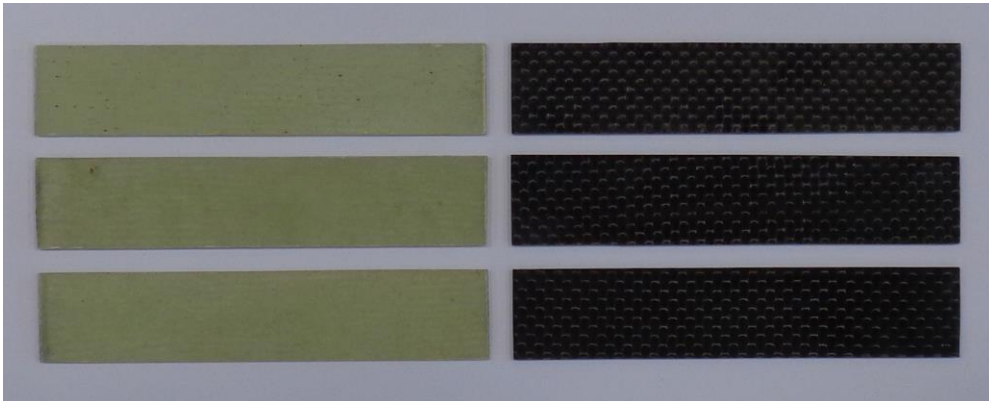


**Rys.1.** Fragment tkaniny: a) jednokierunkowej z włókien szklanych, b) dwukierunkowej z włókien węglowych.

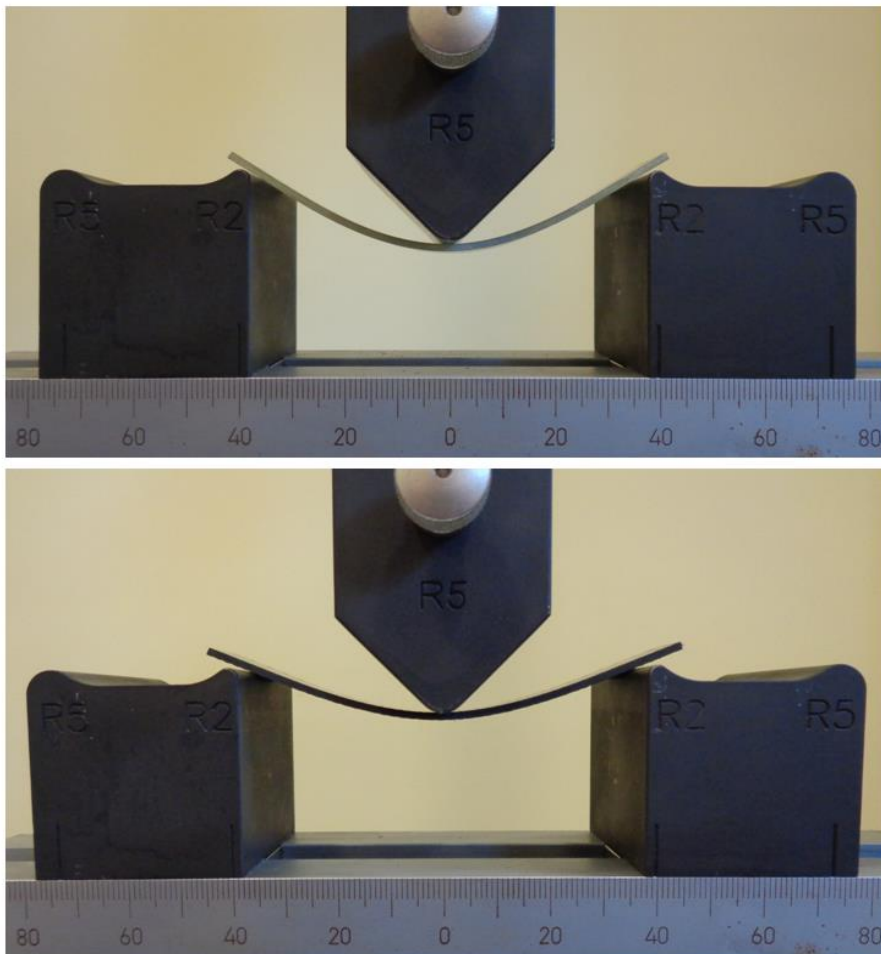
### 2.2 Test zginania trzypunktowego

Statyczny test zginania trzypunktowego został przeprowadzony na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej Inspekt Table Blue 5 (Rys.3). Rozstaw podpór ustawiono na wartość 80 mm. Wielkością zadawaną podczas badań było przemieszczenie trawersy maszyny wytrzymałościowej

(równoznaczne strzałce ugięcia próbki) z prędkością 1 mm/min a wielkością mierzoną była siła zginająca. Badania przeprowadzono dla trzech próbek GFRP i trzech próbek CFRP.



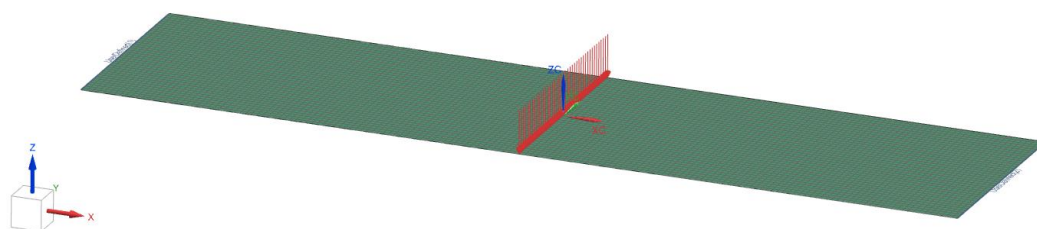
**Rys.2.** Próbkę laminatów GFRP i CFRP.



**Rys.3.** Próbkę GFRP i CFRP podczas testu zginania trzypunktowego.

### 2.3 Model MES

Modele numeryczne próbek laminatów GFRP i CFRP zostały przygotowane w programie NX Siemens wykorzystując dwuwymiarowe czterowęzłowe elementy skończone typu CQUAD4 (Rys.4). Próbki zamodelowano na poziomie makroskalowym, zastępując laminat (materiał niejednorodny) ortotropowym materiałem jednorodnym z uśrednionymi właściwościami sprężystymi. W przypadku laminatu ortotropowego należy zdefiniować dziewięć stałych inżynierskich tj. moduły sprężystości podłużnej  $E_{11}$ ,  $E_{22}$ ,  $E_{33}$ , moduły sprężystości poprzecznej  $G_{12}$ ,  $G_{13}$ ,  $G_{23}$  oraz współczynniki Poissona  $\nu_{12}$ ,  $\nu_{13}$ ,  $\nu_{23}$ . Stałe inżynierskie laminatów GFRP i CFRP (Tab.1) wygenerowano za pomocą specjalnego generatora struktur warstwowych w programie NX. Zastosowanie generatora wymagało wprowadzenia danych wejściowych (Tab.2) w postaci modułu Younga  $E$  i współczynnika Poissona  $\nu$  włókien i matrycy oraz ich udziałów objętościowych. Zamodelowanie warunków brzegowych sprowadziło się do odebrania węzłom w miejscu lewej podpory czterech stopni swobody pozostawiając przemieszczenie wzdłuż osi  $x$  i obrót względem osi  $y$  (Rys.4). W przypadku węzłów znajdujących się w miejscu prawej podpory pozostawiono tylko możliwość obrotu względem osi  $y$ . Siłę zginającą przyłożono w węzłach w połowie długości modeli. Symulację zginania próbek przeprowadzono za pomocą solvera NX Nastran uruchamiając analizę SOL 101 Linear Statics – Global Constraints.



Rys.4. Model makroskalowy próbki laminatu.

Tab.1. Stałe inżynierskie laminatów wygenerowane za pomocą modułu programu NX.

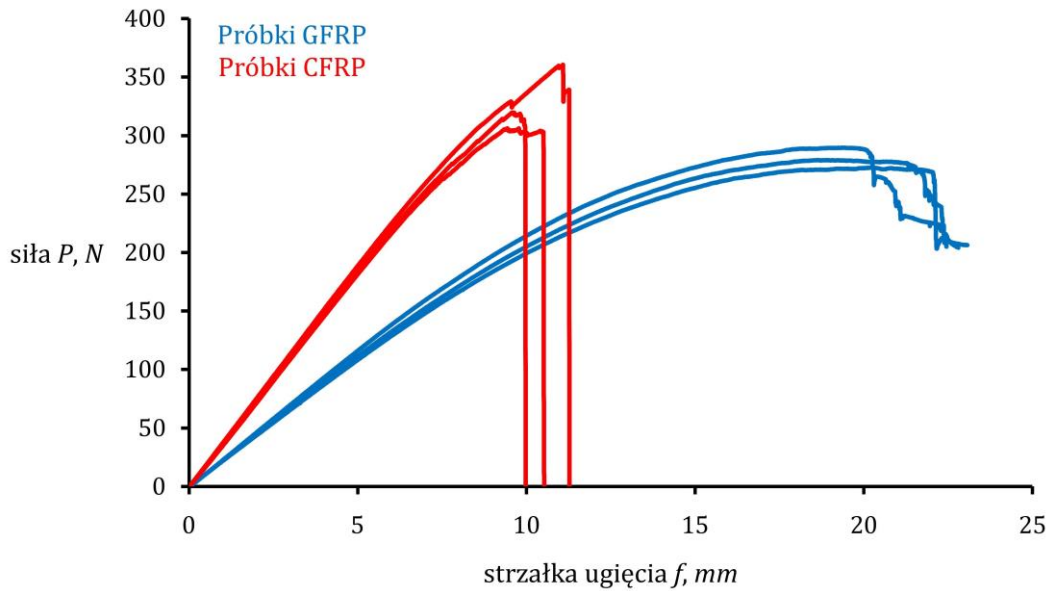
kompozyt	$E_{11}$ , GPa	$E_{22}$ , GPa	$E_{33}$ , GPa	$G_{12}$ , GPa	$G_{13}$ , GPa	$G_{23}$ , GPa	$\nu_{12}$ ,	$\nu_{13}$ ,	$\nu_{23}$ ,
GFRP	30	5.2	5.2	1.9	1.9	1.2	0.3	0.3	0.35
CFRP	60	60	3.2	3.8	1.3	2.1	0.05	0.32	0.32

Tab.2. Stałe inżynierskie i udziały objętościowe komponentów w laminatach GFRP i CFRP.

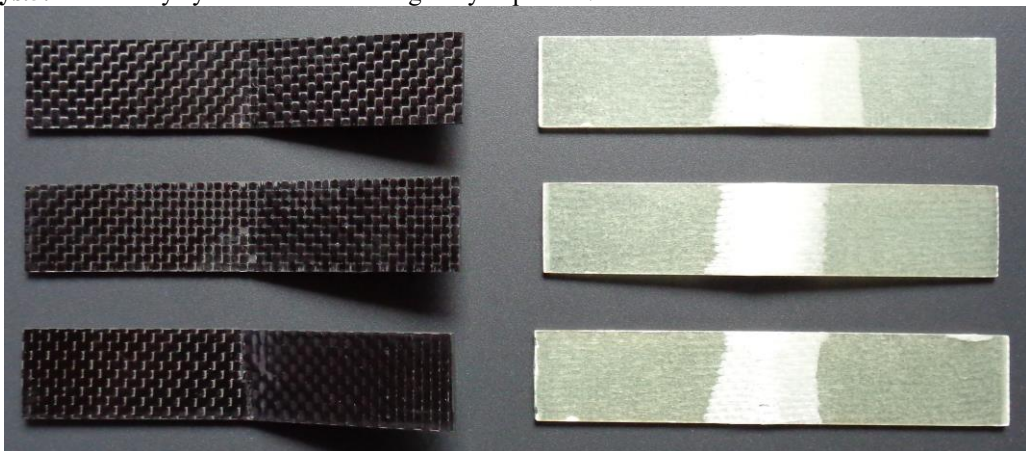
komponent	$E$ , GPa	$\nu$ , –	udział objętościowy w GFRP, %	udział objętościowy w CFRP, %
włókno szklane	70	0.22	40.2	–
włókno węglowe	160	0.26	–	69.7
matryca epoksydowa	3.2	0.35	59.8	30.3

### 3. Wyniki i dyskusja

Na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych opracowano charakterystyki zginania próbek w układzie siła-strzałka ugięcia (Rys.5). Charakterystyki próbek GFRP i CFRP składają się z dwóch faz – liniowej i nieliniowej. Przejście charakterystyk w zakres nieliniowy miał związek z rozpoczęciem procesu pęknięcia w próbkach. Zniszczenie próbek nastąpiło w połowie ich długości (Rys.6).



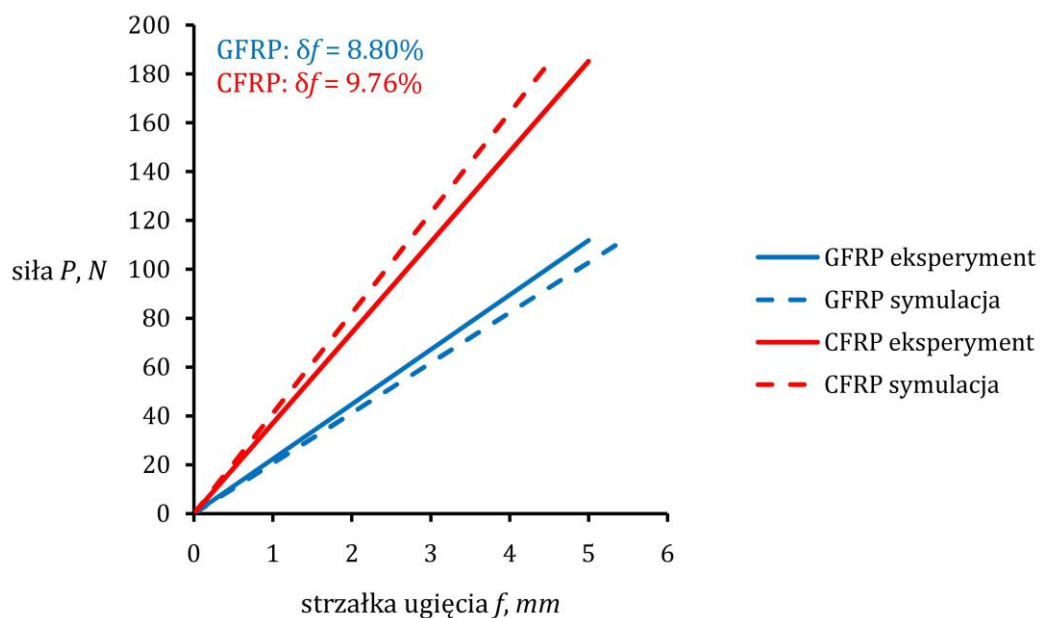
Rys.5. Charakterystyki doświadczalne zginanych próbek.



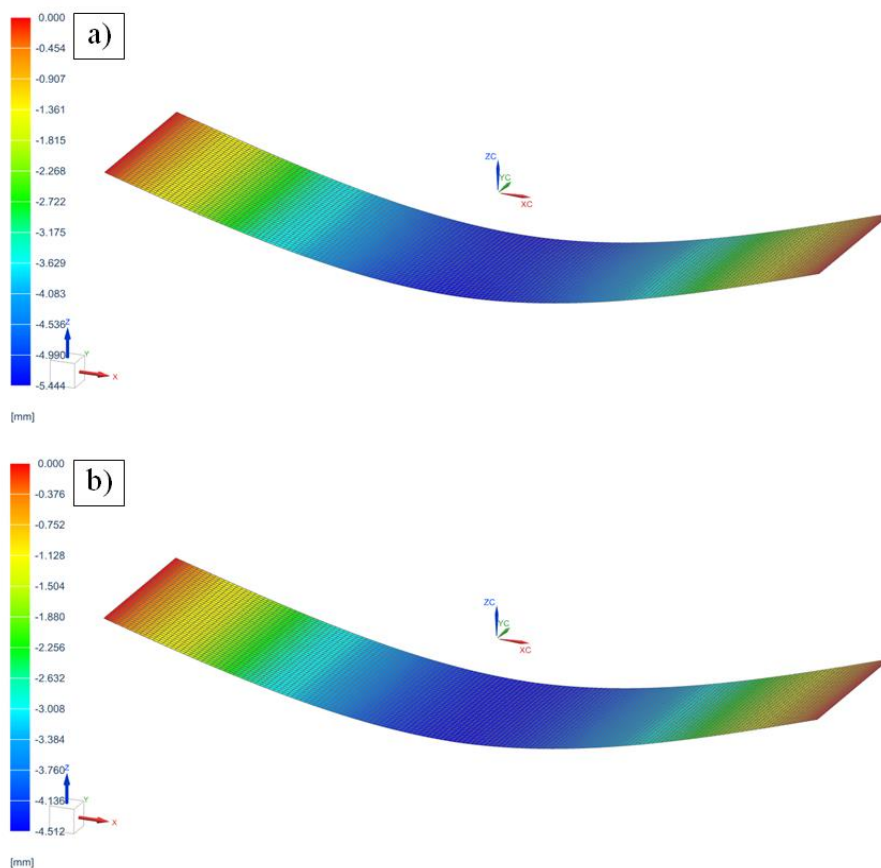
Rys.6. Fotografia zniszczonych próbek.

Celem symulacji numerycznych było sprawdzenie, z jaką dokładnością model makroskalowy odwzorowuje sztywność zbadanych próbek. W związku z tym wyniki symulacji porównano z liniowymi zakresami charakterystyk doświadczalnych bez uwzględnienia mechanizmu zniszczenia próbek (Rys.7). Miarą dopasowania charakterystyk jest błąd względny strzałki ugięcia  $\delta f$  próbek i modelu przy zadanej wartości siły zginającej (Rys.8). Błąd względny strzałki ugięcia w każdym przypadku nie przekroczył 10%, przy czym w praktyce inżynierskiej często przyjmuje się, że błąd względny między wynikami symulacji i eksperymentu nie powinien przekroczyć 5%.

## Przegląd badań



Rys.7. Porównanie wyników symulacji MES z wynikami badań doświadczalnych.



Rys.8. Przemieszczenia węzłów w modelach makroskalowych dla strzałki ugięcia równej 5 mm: a) model próbki GFRP, b) model próbki CFRP.

#### **4. Wnioski**

Na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych i symulacji numerycznych z wykorzystaniem metody elementów skończonych sformułowano następujące wnioski:

- a) modelowanie laminatu na poziomie makroskalowym wymaga określenia szeregu uśrednionych stałych inżynierskich – w przypadku programu NX stałe inżynierskie laminatu można wygodnie wyznaczyć za pomocą specjalnego modułu do generowania struktur warstwowych,
- b) modelowanie laminatu na poziomie makroskalowym bazuje na licznych założeniach upraszczających, m.in. nie uwzględnia się odrębności wzmocnienia i matrycy (laminat traktuje się jak materiał o strukturze jednorodnej),
- c) w przypadku laminat GFRP błąd względny między wynikami symulacji i eksperymentu wynosi 8.80%,
- d) w przypadku laminat CFRP błąd względny między wynikami symulacji i eksperymentu wynosi 9.76%,
- e) zniszczenie próbek laminatów GFRP i CFRP podczas zginania trzypunktowego nastąpiło w wyniku rozerwania dolnych (rozciąganych) warstw laminatu.

W artykule przedstawiono makroskalowy sposób modelowania laminatów z wykorzystaniem narzędzi dostępnych w komercyjnych pakietach obliczeniowych bazujących na metodzie elementów skończonych. Należy zaznaczyć, że modele makroskalowe charakteryzują liczne założenia upraszczające, przez co odpowiedź modelu laminatu na obciążenia zewnętrzne może różnić się od wyników badań doświadczalnych. Symulacje numeryczne zostały przeprowadzone dla liniowego zakresu obciążeń. W celu uzupełnienia symulacji o zakres nieliniowy należałoby w odpowiedni sposób rozbudować modele numeryczne. Źródłem nieliniowości może być postępujące rozwarstwienie (delaminacja), a w zastosowanym modelu warstwy laminatu są połączone w sposób trwały. Podczas zginania w próbce laminatu pojawiają się naprężenia normalne (rozciągające w warstwach dolnych i ściskające w warstwach górnych) oraz naprężenia styczne (wzdłużne i poprzeczne). W przypadku laminatów szczególnie niebezpieczne jest naprężenie styczne wzdłużne, które może przyczynić się do powstania i propagacji pęknięć międzywarstwowych (delaminacji). Symulacja rozwarstwienia modelu makroskalowego polega na uzupełnieniu modelu o specjalne elementy skończone (kohezyjne), które wprowadza się między poszczególne warstwy wzmocnienia. Jednak zagadnienie jest złożone, ponieważ wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań doświadczalnych, na podstawie których wyznacza się specjalne charakterystyki dla elementów kohezyjnych. Dodatkowym źródłem nieliniowości, którą zaobserwowano podczas badań doświadczalnych jest stopniowo postępujący proces pęknięcia włókien wzmacniających. Symulacja takiego schematu zniszczenia wymagałaby zastosowania odpowiednich kryteriów wytrzymałościowych i mechanizmu stopniowego usuwania elementów skończonych.

#### **5. Literatura**

- Bednarzyk BA, Stier B, Simon J-W i in. (2015) Meso- and micro-scale modeling of damage in plain weave composites. *Composite Structures* 121: 258-270.
- Ekşi S, Genel K (2017) Comparison of mechanical properties of unidirectional and woven carbon, glass and aramid fiber reinforced epoxy composites. *ACTA PHYSICA POLONICA A* 132(3-II): 879-882.
- Marszałek J, Stadnicki J, Danielczyk P (2020) Finite element model of laminate construction element with multi-phase microstructure. *Science and Engineering of Composite Materials* 27: 405-414.
- Stadnicki J, Tokarz Z (2016) Mesoscale finite element model for calculating deformations of laminate composite constructions. *Advances in Mechanical Engineering* 8(2): 1-9.
- Vinšova L, Urban T (2017) Testing of mechanical properties of thick-walled carbon fiber composite for FEM simulations. *Materials Today: Proceedings* 4: 5989-5994.

## Przegląd badań



## **7. Oznaczanie pierwiastków w pojedynczych komórkach z wykorzystaniem spektrometrii mas z jonizacją w plazmie sprzężonej indukcyjnie**

Elemental analysis of the single cells using inductively coupled plasma mass spectrometry

Kowa Ewelina, Telk Anna, Wieczorek Marcin

Zakład Chemii Analitycznej, Wydział Chemii, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

Kowa Ewelina: ewelina.kowa@doctoral.uj.edu.pl

Opiekun naukowy: dr hab. Marcin Wieczorek

**Słowa kluczowe:** sc-ICP-MS, ICP-MS, LA-ICP-MS, sc-LA-ICP-MS, metalomika

### **Streszczenie**

Jedną z technik umożliwiającą wyznaczenie zawartości pierwiastków w komórkach jest spektrometria mas z jonizacją w plazmie sprzężonej indukcyjnie ICP-MS (ang. *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*). W tej technice przygotowanie próbki do pomiaru polega najczęściej na przeprowadzeniu jej do roztworu przy wykorzystaniu stężonych kwasów i często także czynników fizycznych (wzrostu temperatury lub/i ciśnienia). Z uwagi na fakt, iż w takim podejściu próbka podlega rozcieńczeniu w zastosowanych odczynnikach, to aby uzyskać informacje o ultraśladowych zawartościach pierwiastków konieczne jest zastosowanie dużej liczby komórek. Ale przede wszystkim należy podkreślić, iż takie postępowanie prowadzi do uśrednienia zawartości analitów w populacji komórek.

W kontekście zrozumienia procesów transportu lub projektowania leków, niezwykle interesujące jest jednak zobrazowanie naturalnej zmienności w efektywności transportu pierwiastków do poszczególnych komórek. Wiedza o wszelkich rozbieżnościach międzykomórkowych jest przydatna zwłaszcza w badaniach komórek nowotworowych, które wykazują zmienną podatność na leki oparte na różnego rodzaju metalach (np. Pt), a także w metalomice, czyli dziedzinie nauki zajmującej się kompleksową analizą zawartości metali w obrębie danego typu komórki.

Poznanie indywidualnej zmienności komórek w obrębie populacji może być zrealizowane przy zastosowaniu spektrometru ICP-MS wyposażonego w wysokowydajny rozpylacz, który przy dostatecznie dużym rozcieńczeniu próbki pozwoli na wprowadzanie do palnika plazmowego pojedynczych komórek (ang. *single-cell-ICP-MS*, sc-ICP-MS). Możliwość obrazowania zawartości pierwiastków w pojedynczych komórkach stwarza zaś połączenie mikropróbkiowania laserowego (ang. *laser ablation*, LA) z techniką sc-ICP-MS.

### **1. Wstęp**

Komórki stanowiące podstawowy element budulcowy złożonych organizmów bądź same będące niezależnymi organizmami potrzebują wielu śladowych pierwiastków do prawidłowego funkcjonowania obecnych w nich metaloprotein, metaloenzymów i innych struktur biorących udział w ważnych procesach komórkowych takich jak cykl komórkowy, proliferacja, apoptoza itp. (Wang i in. 2017). Na szczególną uwagę zasługują komórki nowotworowe, które nie funkcjonują prawidłowo i charakteryzują się m.in. niekontrolowanym namnażaniem. Jednym z najczęściej stosowanych w ich zwalczaniu lekiem jest oparta na kompleksach Pt cisplatyna, a skuteczność terapii zależy m.in. od efektywności przenikania cząsteczek leku do wnętrza komórek. Ponadto poszukuje się nowych leków przeciwnowotworowych wykorzystujących inne metale (np. Ru), które cechowałaby zmniejszona toksyczność. Wśród innych opracowywanych metod leczenia nowotworów można wyróżnić terapię borowo-neutronową (ang. *Boron Neutron Capture Therapy*, BNCT), w której eliminacja komórek nowotworowych jest możliwa dzięki naświetlaniu neutronami wprowadzonych do nich przez odpowiedni nośnik atomów boru (Szczepanek i Silarski 2020). W leczeniu i diagnostyce nowotworów zastosowanie znajdują również zawierające metale (np. Fe,

Gd) nanocząstki, które są m.in. stosowane jako nośniki leków, preparaty kontrastowe (Błaszczak-Świątkiewicz i in. 2013), i które budzą kontrowersje z uwagi na ich wszechobecne wykorzystanie i wykazany negatywny wpływ na niektóre organy i komórki.

Badania mające umożliwić lepsze zrozumienie molekularnych mechanizmów zależnych od metali procesów życiowych są przedmiotem zainteresowania metalomiki- dziedziny nauki, w której kompleksowo analizuje się zawartość metali w obrębie danego typu komórki lub tkanki (Mounicou i in. 2009).

Spektrometria mas z jonizacją w plazmie sprzężonej indukcyjnie (ang. *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*, ICP-MS) to technika charakteryzująca się dużą selektywnością, doskonałą czułością i bardzo niskimi granicami wykrywalności (na poziomie pg/L). Umożliwia ona jednoczesne oznaczenie wielu pierwiastków i ich poszczególnych izotopów w różnego rodzaju próbkach charakteryzujących się złożoną matrycą (Ruszczyńska i in. 2010). Zwykle technika ta wymaga przygotowania próbek do analizy poprzez przeprowadzenie ich do roztworu, na przykład na drodze mineralizacji, czyli rozkładu matrycy organicznej do prostych związków nieorganicznych za pomocą stężonych kwasów, który wykonuje się najczęściej w warunkach podwyższonej temperatury i/lub ciśnienia. W przypadku analizy komórek takie postępowanie skutkuje jednak utratą cennych informacji na temat stężenia pierwiastków w poszczególnych komórkach, bo wykorzystywane w trakcie przygotowania odczynniki i warunki powodują rozpad m.in. występujących w nich błon i ścian komórkowych doprowadzając do połączenia się komórek i wymieszania ich zawartości. Ponadto stosowane na tym etapie kwasy i rozpuszczalniki przyczyniają się do rozcięcia komórek, dlatego, aby możliwe było oznaczenie w nich analitów na poziomie ultraśladowym konieczne jest zastosowanie dużej liczby komórek (ok.  $10^5$ - $10^6$  na mililitr) w trakcie mineralizacji. To wszystko sprawia, że otrzymywana w wyniku analizy informacja o zawartości pierwiastków jest uśredniona i dotyczy całej populacji badanych komórek. Alternatywnym podejściem dla operacji przeprowadzenia próbki do roztworu jest zastosowanie elektrotermicznego odparowania próbki (ang. *electrothermal vaporization*, ETV) lub technik mikroekstrakcyjnych (Wang i in. 2017). Niestety oba podejścia również umożliwiają tylko zdobycie informacji o średnim stężeniu pierwiastków w badanych komórkach.

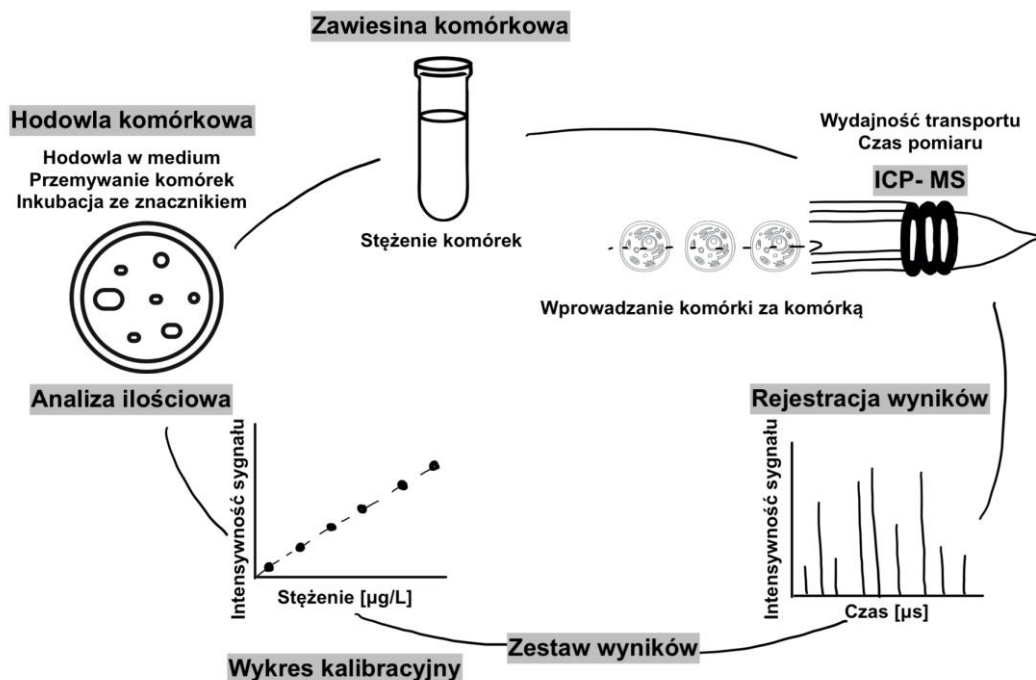
Poznanie indywidualnej zmienności komórek w obrębie ich populacji stwarza szansę naukowcom na znalezienie odpowiedzi na nurtujące pytania dotyczące procesów nowotworowych, immunologicznych, neurobiologicznych itp., stąd poszukuje się skutecznych metod izolacji i analizy pojedynczych komórek pod kątem zawartości i przestrzennego rozmieszczenia obecnych w nich pierwiastków.

Pierwsze próby analizowania pojedynczych komórek dotyczyły oznaczenia aż 74 pierwiastków w 3 komórkach jajowych łososia za pomocą techniki ICP-MS i ICP-OES po ich uprzedniej mineralizacji (Haraguchi i in. 2008). Choć komórki jajowe cechują się znacznie większymi rozmiarami niż inne, to ta niewątpliwie pionierska praca wskazała nową ścieżkę badań w obrębie metalomiki. Od tego czasu opracowano nową technikę umożliwiającą analizę pierwiastkową pojedynczych komórek- technikę ICP-MS w trybie pomiarowym pojedynczej komórki (ang. *single-cell-ICP-MS*, sc-ICP-MS), zaś połączenie jej z ablacją laserową (ang. *Laser Ablation*, LA) pozwala na zobrazowanie zawartości analitów w obrębie komórek.

## **2. Analiza pojedynczych komórek techniką ICP-MS**

W konwencjonalnej technice ICP-MS obserwowany sygnał jest stały, natomiast w sc-ICP-MS rejestruje się sygnały dyskretne odpowiadające liczbie jonów powstałych w wyniku wprowadzenia do palnika plazmowego pojedynczej komórki, która początkowo ulega desolwatacji, a następnie atomizacji i jonizacji (Theiner i in. 2020). Stąd, na podstawie zmierzonej częstotliwości impulsów można określić liczbę komórek w badanej zawieszynie, a intensywność sygnału pozwala poznać całkowitą ilość pierwiastków w komórce, którą przykładowo można wyznaczyć względem roztworów poldispersyjnych nanocząstek metali wykorzystanych jako wzorce kalibracyjne (Ho i Chan 2010). Aby móc otrzymać dokładne wyniki wykorzystywane nanocząstki muszą jednak posiadać zbliżony, a najlepiej taki sam rozmiar jak analizowane komórki.

Na Rys. 1. przedstawiono poszczególne etapy analizy ilościowej w sc-ICP-MS.



**Rys. 1.** Etapy analizy ilościowej pierwiastków techniką sc-ICP-MS (na podstawie: da Silva i Arruda 2023)

Początkowo wyhodowane komórki muszą zostać odpowiednio rozcieńczone tak, aby zmniejszyć ryzyko pomiaru sygnału dla więcej niż jednej z nich w tym samym czasie. Wprowadzenie do palnika plazmowego pojedynczych komórek umożliwia zaś zastosowanie specjalnych rozpylaczy dedykowanych sc-ICP-MS.

Konwencjonalnie wykorzystywane w ICP-MS rozpylacze charakteryzują się małą wydajnością transportu (1-3% przy zastosowaniu przepływu równego  $1 \text{ ml min}^{-1}$  (Yu i in. 2020)), dlatego w trakcie rozwoju techniki sc-ICP-MS pracowano nad udoskonaleniem sposobu wprowadzania komórek do plazmy. Oprócz jak najefektywniejszego transportu ważne jest również, aby komórki nie uległy w trakcie rozpylania destrukcji czy aglomeracji. Prawdziwym przełomem okazało się opracowanie wysoko-wydajnościowego systemu wprowadzania próbek (ang. *High-Efficiency Cell Introduction System*, HECIS), który oferuje wydajność wynoszącą 100% dla mikrobów mniejszych niż  $3 \mu\text{m}$ , zaś dla tych charakteryzujących się średnicą równą  $6,4 \mu\text{m}$  - 86% (Theiner i in. 2020). Aktualnie na rynku dostępne są komercyjne rozwiązania oferujące wyspecjalizowane rozpylacze dedykowane analizie pojedynczych komórek. Istotnym etapem analizy sc-ICP-MS jest określenie wydajności transportu wykorzystywanego rozpylacza i dobranie odpowiedniego czasu pomiaru (ang.  *dwell time*), który pozwoli na rejestrację sygnałów powstałych w wyniku jonizacji tylko jednej komórki.

W sc-ICP-MS sygnały rejestrowane są w trybie czasowo-rozdzielczej analizy (ang. *time-resolved analysis*, TRA) (Yu i in. 2020), a ich przetworzenie na informacje o ilości komórek w badanym roztworze i stężeniach występujących w nich pierwiastków umożliwia zastosowanie dedykowanych programów.

W Tab. 1. przedstawiono wybrane przykłady literaturowe zastosowania techniki sc-ICP-MS. Jednym z nich są badania poświęcone poszukiwaniom biomarkerów podatności na leczenie cisplatiną (Corte Rodríguez i in. 2017). Analiza ludzkich komórek gruczolakoraka jajnika należących do dwóch linii komórkowych: podatnej i odpornej na leczenie, wykazała potencjał stosowania

## Przegląd badań

wewnątrzkomórkowej zawartości Pt jako biomarkera oporności na leczenie, co może znaleźć zastosowanie w medycynie.

Prace nad określeniem komórkowej biodostępności arseninów za pomocą sc-ICP-MS/MS (Meyer i in. 2018) wykazały, że technika ta może stanowić alternatywę do powszechnie stosowanej metody wykorzystującej mineralizację próbek dodatkowo oferując więcej niż tylko informację o średniej zawartości analitytów. Ponadto opracowana metoda w stosunku do konwencjonalnej charakteryzuje się krótszym czasem przygotowania próbek do pomiarów, jednak wymaga określenia wydajności transportu komórek.

Analiza materiału odniesienia wzbogaconych Se komórek drożdży (SELM-1) wykazała, że 70% całkowitej certyfikowanej zawartości analitu znajduje się wewnątrz komórek badanych grzybów (Pereira i in. 2023). Co istotne suma niezależnie określonych zawartości Se wewnątrz komórek jak i poza nimi była zgodną z wartością certyfikowaną.

W sc-ICP-MS możliwe jest również stosowanie znaczników takich jak przykładowo nanoklastry irydu (Menero-Valdés i in. 2023), co umożliwia wykrycie specyficznych białek obecnych w komórkach. W przytoczonej pracy omawiana technika pozwoliła zbadać ekspresję białek APOE i claudin-1 w ludzkich komórkach nabłonka barwnikowego siatkówki narażonych na warunki stresu oksydacyjnego. Ponadto w badaniach wykorzystano nowy układ wprowadzania próbki, którego wydajność transportu dla badanych komórek wyniosła  $85 \pm 9\%$ .

**Tab. 1.** Wybrane przykłady literaturowe zastosowania sc-ICP-MS.

Rodzaj komórek	Anality	Czas pomiaru [ms]	Zastosowanie	Uwagi	Literatura
ludzkie komórki gruczolakoraka jajnika (A2780cis i A2780)	Pt, Fe, Tb	10	- poszukiwanie biomarkerów podatności na leki	- wykazano możliwość rozróżniania linii komórkowych opornych i podatnych na leki za pomocą sc-ICP-MS	(Corte Rodríguez i in. 2017)
ludzkie komórki nowotworu płuc (A549)	As, P, S	3	- określenie komórkowej biodostępności arseninów	- komórki osadzono przed pomiarami w wodzie - LOD: 0,35 fg na komórkę - technika ICP-MS/MS	(Meyer i in. 2018)
drożdże	Se	5	- ilościowa analiza materiału odniesienia wzbogaconych selenem komórek drożdży (SELM-1)	- ponad 70% całkowitej certyfikowanej zawartości Se znajduje się wewnątrz komórek - suma zawartości Se wewnątrz i zewnątrzkomórkowego jest zgodna z certyfikatem	(Pereira i in. 2023)
ludzkie komórki nabłonka barwnikowego siatkówki (ARPE-19)	Ir, Fe, Pt	0,1	- sprawdzenie wpływu prooksydacyjnego stresu na komórki	- wykryto specyficzne białka (APOE i claudin-1) w komórkach z wykorzystaniem znacznika w postaci nanoklastrów irydu - LOD: 0,02 fg APOE i 3 ag claudin-1 na komórkę - otrzymano komplementarne wyniki za pomocą sc-ICP-MS i LA-ICP-MS	(Menero-Valdés i in. 2023)

Analizując zebrane w Tab. 1. wartości czasu pomiaru można zauważyć, że w ciągu 6 lat rozwój aparatury umożliwił 10-krotne skrócenie czasu rejestracji sygnału, co znacznie poprawia

możliwości techniki sc-ICP-MS i minimalizuje ryzyko zmierzenia sygnałów pochodzących od kilku komórek, o ile zostały one pojedynczo wprowadzone do plazmy. Niektóre ze wspomnianych wad wprowadzania komórek do plazmy za pomocą rozpylacza można ominąć stosując technikę sc-LA-ICP-MS.

### **3. Obrazowanie pojedynczych komórek techniką sc-LA-ICP-MS**

Technika LA-ICP-MS łączy zalety techniki ICP-MS z możliwością bezpośredniej analizy próbek stałych bez konieczności ich wcześniejszego przeprowadzenia do roztworu, co pozwala na zdobycie informacji o przestrzennym rozmieszczeniu analitów w obrębie próbki i tworzenie map dystrybucji pierwiastków. Wykorzystywany w LA-ICP-MS laser działając na powierzchnię próbki doprowadza do powstania aerozolu, który następnie jest transportowany przez gaz nośny (najczęściej hel) do palnika plazmowego w efekcie czego powstają jony analizowane i zliczane w spektrometrze mas. Co więcej, to co istotne dla analizy pojedynczej komórki to fakt, że w LA-ICP-MS wydajność transportu komórek nie zależy od ich rozmiaru, bo powstające w wyniku ablacji cząsteczki aerozolu charakteryzują się średnicami mniejszymi niż 200 nm, co gwarantuje prawie 100% wydajność transportu (Theiner i in. 2020). Z takiego aerozolu w porównaniu do całych komórek wprowadzanych do plazmy również łatwiej powstają jony. Pewną wadą techniki obserwowaną również w sc-ICP-MS jest brak komercyjnie dostępnych komórkowych materiałów odniesienia i wzorców o dopasowanej matrycy, stąd zwykle wymagane jest samodzielne przygotowanie wzorców stałych. Z tego powodu również utrudniona jest walidacja opracowanych metod.

W sc-LA-ICP-MS można wyróżnić dwa tryby pomiarowe: analizę w pojedynczym punkcie (ang. *Single Spot Analysis*, SSA) i obrazowanie (ang. *imaging*). W SSA komórki poddawane są całkowitej ablacji z wykorzystaniem wiązki laserowej o dużej średnicy, która musi być odpowiednio dobrana do rozmiaru komórek, zaś w trybie obrazowania dana komórka jest skanowana, a widma masowe są zbierane z każdego punktu, co pozwala na otrzymanie obrazów (Theiner i in. 2020). Szczegółowe mapy można otrzymać stosując jak najmniejszą średnicę wiązki, jednak im jest ona mniejsza tym analiza trwa dłużej i tym mniej materiału ulega ablacji, a zatem czułość pomiaru jest mniejsza. Stąd zwykle dobór parametrów obrazowania jest kompromisem pomiędzy jak najlepszą rozdzielczością uzyskanych obrazów a czułością i czasem zbierania danych.

Próbki zwykle przygotowuje się do pomiaru poprzez utrwalenie komórek i ich odwodnienie na szkiełkach mikroskopowych tak, aby zachowały one swoją morfologię podczas procesu ablacji (Yu i in. 2020). Również w sc-LA-ICP-MS komórki mogą być barwione lub znakowane w zależności od celu analizy.

W Tab. 2. przedstawiono wybrane przykłady literaturowe zastosowania sc-LA-ICP-MS. Technika ta pozwoliła m.in. na zobrazowanie nanocząstek złota i srebra w mysich komórkach fibroblastów (Drescher i in. 2012). Ponadto, zastosowane w pracy wzorce, które przygotowano w oparciu o nitrocelulozową membranę wzbogaconą odpowiednimi roztworami nanocząstek umożliwiły określenie ich zawartości w komórkach. Ten sam rodzaj komórek również został wykorzystany w badaniach porównujących dwa tryby pomiarowe stosowane w sc-LA-ICP-MS (Löhr i in. 2018). Tryb SSA pozwolił na 10-krotne zwiększenie przepustowości i skrócenie czasu analizy, a ponadto w stosunku do trybu obrazowania zaobserwowano również lepszy stosunek sygnału do szumu.

Technika sc-LA-ICP-MS została także wykorzystana w badaniach próbek klinicznych (Theiner i in. 2019). W przytoczonej pracy próbki krwi pacjenta leczonego cisplatyną oraz próbki pacjenta kontrolnego zobrazowano za pomocą systemu LA-ICP-MS z analizatorem czasu przelotu, który doskonale sprawdza się w analizie krótko trwających sygnałów przejściowych (ang. *transient signals*) obserwowanych dla pojedynczych komórek. W przypadku erytrocytów obserwowano wysoką intensywność sygnałów pochodzących od jonów żelaza, a widma leukocytów charakteryzowały się intensywnymi sygnałami dla siarki i fosforu. Po raz pierwszy zbadano również bez konieczności uprzedniego utrwalenia i znakowania komórek preferencyjną akumulację Pt w różnego typu krwinkach. Wyniki pokazały, że tylko niewielka część Pt wiązała się z erytrocytami.

Omawiana technika umożliwiła również zobrazowanie receptorów w ludzkich komórkach nowotworu piersi (Van Acker i in. 2019), a także pozwoliła na ilościowe zobrazowanie białek

## Przegląd badań

w ludzkich komórkach nabłonka barwnikowego siatkówki z wykorzystaniem wzorców na bazie nanocząstek złota (Lores-Padíni in. 2022).

**Tab. 2.** Wybrane przykłady literaturowe zastosowania sc-LA-ICP-MS.

Rodzaj komórki	Anality	Czas pomiaru [ms]	Długość lasera i średnica wiązki	Zastosowanie	Uwagi	Literatura
mysie fibroblasty (3T3)	Au, Ag, Pt, Pd	2	laser Nd:YAG o długości 213 nm średnica: 4 lub 8 $\mu$ m	- zobrazowanie rozmieszczenia nanocząstek złota i srebra w komórkach	- nanocząstki zobrazowano w odniesieniu do struktur komórkowych i zauważono ich gromadzenie wokół jądra - wzorce oparto na nitrocelulozie - badania przeprowadzono wykorzystując sektorowy analizator mas	(Drescher i in. 2012)
	Ir, Ho	300	laser Nd:YAG o długości 213 nm średnica: 30 $\mu$ m (obrazowanie) 110 $\mu$ m (analiza w pojedynczym punkcie)	- porównanie dwóch trybów ablacji: obrazowania i analizy w pojedynczym punkcie	- komórki barwiono za pomocą dwóch barwników i mierzono za pomocą różnych trybów - analiza w pojedynczym punkcie pozwoliła na 10-krotne zwiększenie przepustowości i skrócenie czasu analizy - wzorce oparto na nitrocelulozie - LOD: 12 fg Ir 30 fg Ho na komórkę - LOQ: 57 $\pm$ 35 fg Ir 1192 $\pm$ 707 fg Ho na komórkę	(Löhr i in. 2018)
ludzkie komórki krwi-leukocyty i erytrocyty	P, Fe, Cu, S, Zn, Br i Pt	5	laser ekscymerowy ArF o długości 193 nm średnica: 4 $\mu$ m	- analiza wielopierwiastkowa próbek klinicznych	- w pracy nie znakowano komórek - badano próbki krwi pacjentów leczonych cisplatyną - opracowana metoda pozwoliła na analizę setek pojedynczych komórek w ciągu kilku minut - badania przeprowadzono wykorzystując analizator czasu przelotu (sc-LA-ICP-ToF-MS)	(Theiner i in. 2019)
ludzkie komórki nowotworu piersi (MDA-MB-468 MDA-MB-231 X4)	Tm, Ho, Y i Ir	10 lub 4	laser ekscymerowy ArF o długości 193 nm średnica: 30 $\mu$ m	- zobrazowanie membranowej lokalizacji receptorów	- otrzymano komplementarne wyniki za pomocą LA-ICP-MS i mikroskopii konfokalno-fluorescencyjnej	(Van Acker i in. 2019)

Rodzaj komórki	Anality	Czas pomiaru [ms]	Długość lasera i średnica wiązki	Zastosowanie	Uwagi	Literatura
ludzkie komórki nabłonka barwnikowego siatkówki (HRPEsv)	Au	50	laser ekscymerowy ArF o długości 193 nm  średnica: 6 μm	- ilościowe zobrazowanie białek w pojedynczych komórkach	- opracowano wzorce o dopasowanej matrycy, które oparto na komórkach wzbogaconych nanocząstkami złota - wyniki potwierdzono za pomocą komercyjnych zestawów ELISA	(Lores-Padín i in. 2022)

#### 4. Podsumowanie

Technika sc-ICP-MS pozwala na zdobycie cennych informacji o składzie pierwiastkowym indywidualnej komórki, które są tracone przy zastosowaniu konwencjonalnej techniki ICP-MS wymagającej najczęściej przygotowania komórek do pomiaru poprzez ich rozkład. Wiedza ta jest cenna dla naukowców zajmujących się metalomiką i może zostać wykorzystana m.in. do opracowania nowych leków czy terapii antynowotworowych.

Skuteczność pomiaru sygnału pochodzącego od tylko jednej komórki zależy m.in. od możliwości bardzo szybkiej rejestracji sygnałów determinowanej przez aparaturę, a także od efektywnego wprowadzania próbek do palnika plazmowego.

Problemy związane z małą wydajnością transportu komórek rozwiązuje poniekąd zastosowanie w połączeniu z sc-ICP-MS ablacji laserowej, która dodatkowo umożliwia ilościowe zobrazowanie pierwiastków w pojedynczych komórkach.

Do tej pory technika sc-ICP-MS została wykorzystana m.in. w badaniach nad biodostępnością i poszukiwaniem biomarkerów pozostałości na leki, a jej połączenie z LA umożliwiło zobrazowanie nanocząstek, leków, białek i receptorów w komórkach.

Konieczne jest prowadzenie dalszych prac nad opracowaniem nowych wzorców kalibracyjnych, które mogłyby być wykorzystane w trakcie analizy ilościowej z użyciem zarówno techniki sc-ICP-MS, jak i sc-LA-ICP-MS.

#### 5. Literatura

- Błaszczak-Świątkiewicz K, Olszewska P, Mikciuk-Olasik E (2013) Zastosowanie nanocząsteczek w leczeniu i diagnostyce nowotworów. *NOWOTWORY Journal of Oncology* 63(4): 320-330.
- Corte Rodríguez M, García RAF, Blanco E i in. (2017) Quantitative Evaluation of Cisplatin Uptake in Sensitive and Resistant Individual Cells by Single-Cell ICP-MS (SC-ICP-MS). *Analytical Chemistry* 89(21):11491-11497.
- da Silva ABS, Arruda MAZ (2023) Single-cell ICP-MS to address the role of trace elements at a cellular level. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 75: 127086.
- Drescher D, Giesen C, Traub H i in. (2012) Quantitative Imaging of Gold and Silver Nanoparticles in Single Eukaryotic Cells by Laser Ablation ICP-MS. *Analytical Chemistry* 84(22): 9684-9688.
- Haraguchi H, Ishii A, Hasegawa T i in. (2008) Metallomics study on all-elements analysis of salmon egg cells and fractionation analysis of metals in cell cytoplasm. *Pure Applied Chemistry* 80: 2595-2608.
- Ho KS, Chan WT (2010) Time-resolved ICP-MS measurement for single-cell analysis and on-line cytometry. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 25:1114.
- Lores-Padín A, Fernández B, García M i in. (2022) Real matrix-matched standards for quantitative bioimaging of cytosolic proteins in individual cells using metal nanoclusters as immunoprobe-label: A case study using laser ablation ICP-MS detection. *Analytical Chimica Acta* (2022) 1221: 340128.
- Löhr K, Traub H, Wanka AJ i in. (2018) Quantification of metals in single cells by LA-ICP-MS: comparison of single spot analysis and imaging. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 33: 1579-1587.

- Menero-Valdés P, Lores- Padín A, Fernández B i in. (2023) Determination and localization of specific proteins in individual ARPE-19 cells by single cell and laser ablation ICP-MS using iridium nanoclusters as label. *Talanta* 253: 123974.
- Meyer S, López-Serrano A, Mitze H i in. (2018) Single-cell analysis by ICP-MS/MS as fast tool for cellular bioavailability studies of arsenite. *Metallomics* 10: 73-76.
- Mounicou S, Szpunar J, Lobinski R (2009) *Metallomics: the concept and methodology*. Chemical Society Reviews 38(4): 1119-1138.
- Mueller L, Traub H, Jakubowski N i in. (2014) Trends in single-cell analysis by use of ICP-MS. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 406: 6963-6977.
- Pereira JSF, García AF, Corte-Rodríguez M i in. (2023) Towards single cell ICP-MS normalized quantitative experiments using certified selenized yeast. *Talanta* 252: 123786.
- Ruszczyńska A, Wagner B, Bulska E (2010) 1.5 - Spektrometria mas plazmy indukcyjnie sprzężonej. *Metody analitycznej spektrometrii atomowej- teoria i praktyka* 157-158.
- Szczepanek M, Silarski M (2020) Terapia borowo-neutronowa BNCT przyszłością w leczeniu rozszianych nowotworów. *FOTON* 149: 28-35.
- Theiner S, Loehr K, Koellensperger G i in. (2020) Single-cell analysis by use of ICP-MS. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 35(9): 1784-1813.
- Theiner S, Schweikert A, Van Malderen SJM i in. (2019) Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma Time-of-Flight Mass Spectrometry Imaging of Trace Elements at the Single-Cell Level for Clinical Practice. *Analytical Chemistry* 91:8207-8212.
- Van Acker T, Buckle T, Van Malderen SJM i in. (2019) High-resolution imaging and single-cell analysis *via* laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry for the determination of membranous receptor expression levels in breast cancer cell lines using receptor-specific hybrid tracers. *Analytica Chimica Acta* 1074: 43-53.
- Wang H, He M, Chen B i in. (2017) Advances in ICP-MS-based techniques for trace elements and their species analysis in cells. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 32(9): 1650-1659.
- Yu X, He M, Chen B i in. (2020) Recent advances in single-cell analysis by inductively coupled plasma-mass spectrometry: A review. *Analytica Chimica Acta* 1137: 191-207.
- Zhu Y (2021) Single-cell Analysis Based on ICP-MS. *Analytical Sciences* 37:1653-1654.



## **8. Architektoniczne rozwiązania projektowe wpływające na poczucie bezpieczeństwa w domach jednorodzinnych alternatywą dla systemów Smart Home**

Architectural design solutions that affect the sense of security in single-family houses as an alternative to Smart Home systems

Sebastian Łabędź

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Architektury,  
ul. Żołnierska 50, 71-210 Szczecin

Sebastian Łabędź: slabedz@zut.edu.pl

Opiekun naukowy: prof. nzw. dr hab. inż. arch. Marek Wołoszyn

**Słowa kluczowe:** bezpieczny dom; system inteligentnego domu

### **Streszczenie**

Autor artykułu przedstawia rodzaje zabezpieczeń oferowanych przez system inteligentnego domu. Wykazuje rodzaje systemów, ich wady i zalety oraz zestawia je z typowo architektonicznymi rozwiązaniami w projektowanych domach jednorodzinnych, jako alternatywa dla technologii smart. Przedstawiona analiza ma na celu wykreowanie rozwiązań architektonicznych potrzebnych do zwiększenia poczucia bezpieczeństwa w obiektach zabudowy jednorodzinnej.

#### **1. Wstęp**

Architektura powinna rozwiązywać problemy współczesnego świata oraz odpowiadać na aktualne potrzeby człowieka. W dążeniu do tego celu pomocny jest postęp technologiczny, dzięki któremu architektura może się zmieniać.

Istnieje jednak problem, który po dzień dzisiejszy pozostaje nierozwiązany, a mianowicie ochrona obiektów przed dostępem dla osób niepożądanych. Współczesny świat nie zna takich zabezpieczeń, których nie dałoby się obejść. Obecnie coraz większą popularność zyskują nowoczesne systemy - smart home nastawione na zapewnienie jak największej ochrony antywłamaniowej. Jednakże oferowane przez nie bezpieczeństwo okazuje się wątpliwe.

Racjonalnym rozwiązaniem problemu mogłoby być dostosowanie struktury domu oraz jego otoczenia, tak aby zapewnić poczucie bezpieczeństwa antywłamaniowego bez potrzeby korzystania z nowoczesnej technologii.

Celem artykułu jest zatem znalezienie rozwiązań architektonicznych zwiększających poczucie bezpieczeństwa użytkowników domów jednorodzinnych, będących alternatywą dla systemów - smart home przy jednoczesnym zachowaniu funkcjonalności oraz estetyki obiektu.

W pierwszej części artykułu przedstawiono zwięzły zarys systemu inteligentnego domu (- smart home) ukazujący możliwości zwiększające poczucie bezpieczeństwa użytkowników obiektów jednorodzinnych. Nakreślona została typologia podłączenia urządzeń pod względem zasadności stosowania w określonych rodzajach obiektów. Ponad to zwrócono uwagę na znaczące mankamenty funkcjonowania systemu pod kątem antywłamaniowym w oparciu o dotychczasowe badania.

W dalszej części artykułu przedstawiono badania wykonane na podstawie analiz: newralgicznych punktów stanowiących o sile zabezpieczeń domów jednorodzinnych, dostępności do poszczególnych stref oraz komponentów architektonicznych zwiększających poczucie bezpieczeństwa. W tym celu wybrano kilka przykładów istniejących domów jednorodzinnych posiadających wyżej wymienione rozwiązania architektoniczne. Ponad to starano się odpowiedzieć na pytanie: które rozwiązania w największym stopniu zwiększają poczucie bezpieczeństwa, a w konsekwencji jaki dom jest najbezpieczniejszy?

## 2. Elementy systemu Smart Home zwiększające bezpieczeństwo antywłamaniowe

Należy rozróżnić dwa warianty podłączenia systemu smart home. System przewodowy oraz bez-przewodowy. W przypadku pierwszego, urządzenia połączone są ze sobą poprzez przewody w ścianach. Funkcjonowanie systemu bezprzewodowego opiera się na falach radiowych, dzięki którym urządzenia komunikują się między sobą. Racjonalnie rzecz ujmując ze względu na rozmieszczenie przewodów system przewodowy sprawdzi się tylko w przypadku obiektów nowobudowanych lub gruntownie remontowanych. Natomiast system bezprzewodowy znajduje zastosowanie praktycznie w każdym obiekcie (Garbarek, 2021).

Rozbudowana sieć połączonych ze sobą urządzeń zapewnia ochronę przed dostępem do obiektu niepowołanych osób. Przykładowo, jeśli system czujników wykryje ruch w domu pod nieobecność domowników, może momentalnie poinformować o tym właściciela, włączyć alarm, zapalić światło czy zablokować drzwi. Na uwagę zasługuje funkcja symulacji obecności, która poprzez randomowe lub zaplanowane uruchamianie urządzeń pozwala naśladować codzienne funkcjonowanie domowników podczas ich nieobecności.

W rzeczywistości system zapewnia pozorne poczucie bezpieczeństwa. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż każde urządzenie mające połączenie z internetem uznaje się za podatne na atak hackerski (Grochowska, 2019). W raporcie opublikowanym przez ENISA przeczytamy – (...) *ataki na Smart Home mogą być skierowane na najsłabszy element, aby przechwycić dane uwierzytelniające HAN i opracować potężniejsze ataki. Na przykład badacze odzyskali klucz prywatny Wi-Fi z niezabezpieczonego urządzenia i mogli połączyć się z siecią, aby przejąć kontrolę nad inteligentnym domem* (ENISA 2015). Zagrożona jest nie tylko prywatność użytkowników czy ich dobra materialne. W 2016 r. w Finlandii grupa hackerów przeprowadziła atak na inteligentne apartamentowce, doprowadzając do blokady ogrzewania i dostawy ciepłej wody, co spowodowało liczne utrudnienia dla mieszkańców.

Dotychczasowe badania wskazują na istnienie kolejnych zagrożeń. Naukowcy z Uniwersytetu Michigan oraz Uniwersytetu Elektrokomunikacji w Tokio odkryli, że odpowiednie skierowanie wiązki lasera na mikrofon urządzenia wywołuje efekt identyczny do wydawanej komendy głosowej (Maj, 2019). Metoda ta może posłużyć włamywaczom do zdalnych i niezauważalnych ataków. Rozważania te stają się jeszcze bardziej zasadne, gdy weźmiemy pod uwagę awaryjność systemów oraz konieczność podłączenia do prądu.

## 3. Rozwiązania architektoniczne zwiększające poczucie bezpieczeństwa w domach jednorodzinnych

W pierwszej kolejności należy przeanalizować metody przedostawania się osób trzecich do obiektów - *decydujące znaczenie ma najmniej odporny element, najsłabsze ogniwo wśród zabezpieczeń* (Antkiewicz 2019). Poniższa tabela przedstawia główne drogi włamania do obiektów jednorodzinnych w oparciu o dane statystyczne.

**Tab. 1.** Zestawienie komponentów stanowiących o sile zabezpieczeń domu jednorodzinnego (Antkiewicz 2019 / autor).

Lp	Komponent	Częstość włamań	Poziom trudności
1	Ogrodzenie	Bardzo często	Łatwy
2	Okna	Bardzo często	Łatwy
3	Brama garażowa	Rzadko	Średni
4	Drzwi wejściowe	Często	Trudny
5	Drzwi tarasowe	Często	Średni

Należy zwrócić szczególną uwagę na fakt, iż pierwszą przeszkodą do przejścia dla osób trzecich stanowi ogrodzenie otaczające teren, na którym położony jest obiekt. W związku z powyższym należałoby odpowiednio zabezpieczyć wspomniany element działki, który posiadacze domów jednorodzinnych notorycznie bagatelizują.

Analizując dane z tabeli można również stwierdzić, iż w większości przypadków dostęp osób trzecich do domów jednorodzinnych następuje poprzez okna lub drzwi umieszczone na parterze. Zasadniczo dobrym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie okien i drzwi antywłamaniowych, które posiadają dodatkowe zabezpieczenia. Jednakże - *Nawet najsolidniejsze drzwi i zabezpieczenia mechaniczne nie zatrzymają zdeterminowanego, dobrze wyposażonego i dysponującego dużą ilością czasu przestępcy* (Antkiewicz 2019). Dodatkowo powyższe rozwiązania powodują problemy z izolacyjnością cieplną, a także stanowią utrudnienie w przypadku akcji ratowniczej.

Można domniemywać, iż dużym utrudnieniem byłoby stosowanie małych przeszkleń w elewacjach, z drugiej jednak strony większe przeszklenia dają możliwość obserwacji oraz łatwiejszego zauważenia potencjalnego włamywacza.

Niewątpliwie duże zagrożenie dla poczucia bezpieczeństwa domowników stanowi garaż - *Złodzieje bardzo chętnie wchodzi najpierw do garażu. W końcu jeśli znajduje się on w bryle budynku lub do niego przylega, to niemal zawsze łączy się z nim drzwiami. Nie tylko mniej solidnymi niż główne wejściowe, lecz zwykle zamkniętymi na jeden prosty zamek* (Antkiewicz 2019).

Zważywszy na przedstawiony powyżej problem zasadne uważa się wyszukanie odpowiednich rozwiązań architektonicznych mających na celu poprawę zabezpieczeń antywłamaniowych. W związku z tym wybrano kilka przykładów istniejących obiektów wnoszących nietypowe metody zwiększające poczucie bezpieczeństwa. W poniższych badaniach przedstawiono analizę porównawczą w oparciu o aspekty bezpieczeństwa, dzięki którym zaistniała możliwość obiektywnego ocenienia poszczególnych domów jednorodzinnych.

Do analiz wytypowano:

- Dom Bezpieczny – dom autorstwa arch. Roberta Koniecznego, powstały w 2008r. w Okrzeszynie koło Warszawy. Głównym założeniem projektu było zapewnienie inwestorowi możliwie największego poczucia bezpieczeństwa. Wskutek tego powstała prosta forma z mobilnymi elementami pozwalająca na użytkowanie obiektu przy zachowaniu maksymalnej intymności.

- Dom „Arka” arch. R. Koniecznego – dom autorstwa arch. Roberta Koniecznego, powstały w 2015r. w Brennej koło Cieszyna. Priorytetem przy projektowaniu obiektu było ukierunkowanie obiektu na roztaczający się w oddali widok. Problem zapewnienia poczucia bezpieczeństwa rozwiązano poprzez obrócenie bryły względem zbocza co pozwoliło unieść część parterową uniemożliwiając dostęp osobom trzecim.

- Dom Aatrialny - dom autorstwa arch. Roberta Koniecznego, powstały w 2006r. w Opolu. Ze względu na niefortunne umiejscowienie wjazdu na działkę narodził się pomysł zagłębienia dojazdu w terenie oraz umieszczenie strefy wejściowej w wewnętrznym atrium. W efekcie powstała odwrotność domu atrialnego.

**Tab. 2.** Analiza porównawcza wybranych domów jednorodzinnych pod względem dostępności.

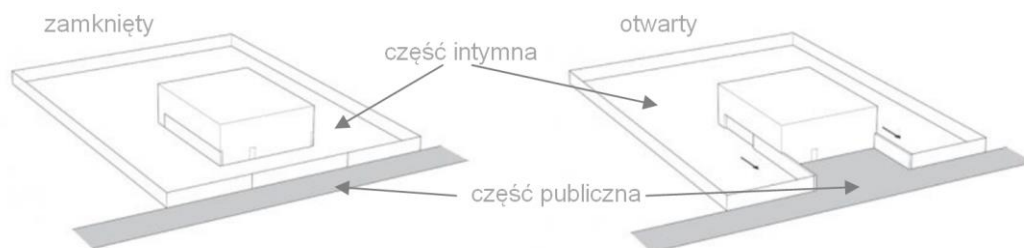
Lp	Kryterium	Dom Bezpieczny	Arka Koniecznego	Dom Aatrialny	Typowy dom jednorodzinny
1	Dostępność na teren	+	-	+	-
2	Dostępność do domu	+	+	+	-
3	Dostępność do garażu	+	nie dotyczy	+	-

## Przegląd badań

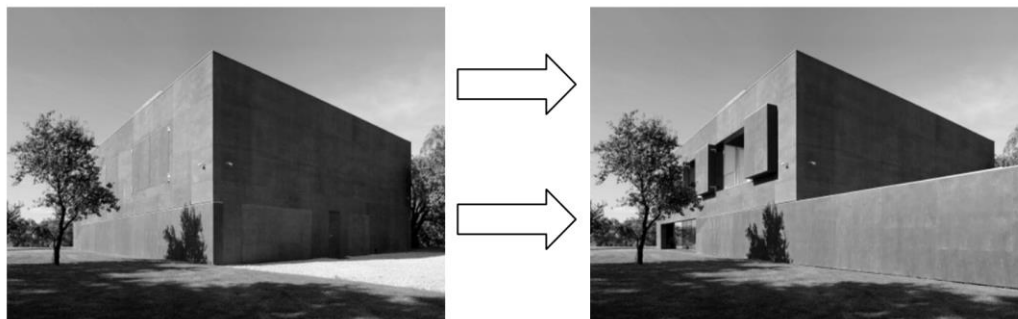
Analizując dostępność na teren obiektu w powyższych przykładach można stwierdzić, iż zarówno Dom Bezpieczny jak i Dom Aatrialny zapewniają ochronę w postaci solidnego ogrodzenia, utrudniającego przedostanie się na drugą stronę. Inaczej sytuacja wygląda w przypadku Domu Arki arch. Koniecznego, gdzie obiekt nie jest zabezpieczony żadną barierą, mimo to dzięki otwartości terenu poczucie bezpieczeństwa jest zapewnione.

Typowy dom jednorodzinny nie posiada ani solidnego ogrodzenia ani otwartej przestrzeni, sprawiającej, że zauważenie obcych osób na terenie jest prostsze. Powoduje to, że dostęp na teren jest znacznie ułatwiony.

Analizując możliwość wtargnięcia do obiektu, należy pozytywnie ocenić Dom Bezpieczny z racji zastosowania mobilnych elementów, pozwalających na zamykanie bądź otwieranie bryły obiektu na strefę publiczną przy jednoczesnym zachowaniu intymności strefy ogrodu (Rys. 1). Dodatkowy atut stanowi prosta bryła obiektu, która w pozycji zamkniętej cechuje się trudno dostępną, jednolitą formą (Rys. 2).



**Rys. 1.** Dom zamknięty lub dom otwarty - Dom Bezpieczny 2008 (kwwpromes.pl / autor).

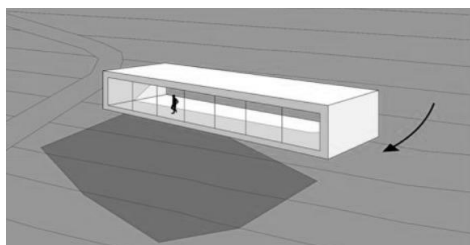


**Rys. 2.** Przesuwne ściany i okiennice - Dom Bezpieczny 2008 (kwwpromes.pl).

Dom „Arka” arch. R. Koniecznego, dzięki obróceniu bryły obiektu, kondygnację wejściową posiada na poziomie I-go piętra co znacząco utrudnia dostęp (Rys. 3). Poza przesuwными elementami, dodatkową zaletą jest zastosowanie unoszonej platformy stanowiącej jedyne wejście (Rys. 4).

Według autora projektu Domu Aatrialnego – (...) *przybywający z zewnątrz nie może dostać się do ogrodu inaczej jak tylko przechodząc przez atrium i dom* (arch. R. Konieczny). Biorąc pod uwagę trudność w dotarciu do strefy wejściowej rozwiązanie również można uznać za pozytywne (Rys. 5). Tego rodzaju rozwiązania projektowe nie występują w typowych domach jednorodzinnych.

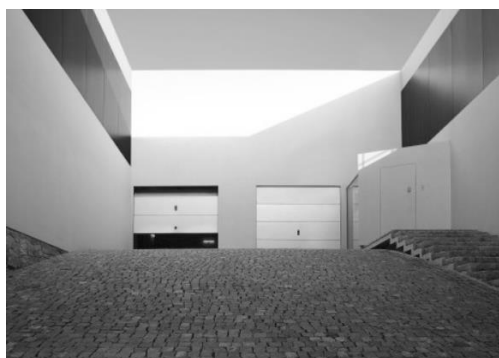
Mając na względzie dostępność do strefy garażowej w Domu Bezpiecznym, z racji zastosowania solidnych, mobilnych elementów dostęp uważa się za utrudniony. Natomiast dom Aatrialny wyróżnia się umiejscowieniem garażu oraz wjazdu, który odbywa się z centralnego dziedzińca (Rys. 6). Zważywszy na trudny dostęp do wyżej wymienionej strefy, pojazdy znajdują się w przestrzeni bezpiecznej. W przypadku Domu Arki arch. R. Koniecznego problem nie istnieje, gdyż stanowisko dla pojazdów nie zostało wydzielone. Natomiast typowe domy jednorodzinne posiadają zazwyczaj niesolidne bramy garażowe.



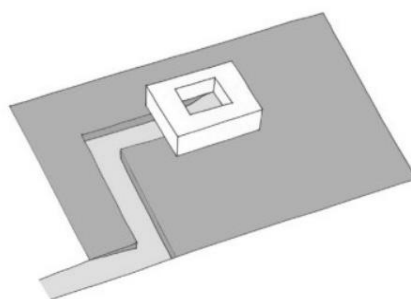
**Rys. 3.** Dom „Arka” R. Koniecznego, 2015 – schemat (kwkpromes.pl)



**Rys. 4.** Wejście poprzez unoszoną platformę - „Arka” R. Koniecznego 2015 ( kwkpromes.pl)



**Rys. 5.** Dom Aatrialny, 2006 - wjazd do garażu (kwkpromes.pl).



**Rys. 6.** Dom Aatrialny, 2006 – schemat (kwkpromes.pl).

Kolejna analiza prezentuje zestawienie elementów, które zastosowane w projekcie domu jednorodzinnego pozwalają zapewnić większe poczucie bezpieczeństwa przy jednoczesnym zachowaniu estetyki i funkcjonalności domu jednorodzinnego. Na tej podstawie możliwe było scharakteryzowanie wybranych przykładów obiektów. Wyniki przedstawiono poniżej w Tab. 3.

**Tab. 3.** Zestawienie komponentów architektonicznych zwiększających poczucie bezpieczeństwa użytkowników domów jednorodzinnych.

Lp	Komponent	Dom Bezpieczny	Dom Arka arch. R. Koniecznego	Dom Aatrialny	Typowy dom jednorodzinny
1	Przesuwne elementy	+	+	-	-
2	Rolety antywłamaniowe	+	-	-	+
3	Podwyższony parter	-	+	-	-
4	Utrudnione wejście / wjazd	+	+	+	-
5	Solidne ogrodzenie	+	-	+	-
6.	Ciężkie do sforsowania materiały	+	+	+	-

Dane zawarte w tabeli pozwalają stwierdzić, iż najbezpieczniejszym obiektem spośród analizowanych, z racji ilości zastosowanych rozwiązań, uznaje się Dom Bezpieczny. Zdaniem twórcy projektu - *Kluczowe są przesuwne ściany (...), gdyż to one pozwalają na ingerowanie w układ działki i wyznaczanie strefy bezpiecznej* (arch. R. Konieczny). Innymi słowy istnieje możliwość kreacji przestrzeni dostosowanej do potrzeb użytkowników, zachowując jednocześnie intymność oraz bezpieczeństwo.

Dom „Arka” arch. R. Koniecznego oraz Dom Aatrialny wypadają w zestawieniu nieznacznie słabiej, aczkolwiek przyjęte sposoby zapewniają oczekiwaną ochronę, wobec tego w podobny sposób utrudniają wtargnięcie do obiektu. Powyższe rozwiązania nie występują w typowych domach jednorodzinnych, gdzie zabezpieczenie obiektu ogranicza się do stosowania rolet antywłamaniowych, które ochronę zapewniają tylko na krótki okres czasu.

#### 4. Podsumowanie

Reasumując, wszystkie wybrane do analizy przykłady wykazują nowatorskie podejście do problematyki bezpieczeństwa użytkowników domów jednorodzinnych. Przedstawione rozwiązania pokazują, że rozwój architektury powinien iść w kierunku zapewniania odpowiedniej ochrony również w nierzadko pomijanym aspekcie bezpieczeństwa przed włamaniami.

Przeprowadzone analizy pozwalają stwierdzić, że najbezpieczniejszym rozwiązaniem byłoby połączenie opisanych rozwiązań i zastosowanie ich w jednym projekcie. Zestawienie tych rozwiązań przedstawiono w poniższej tabeli i zestawiono z systemami inteligentnego domu.

**Tab. 4.** Zestawienie komponentów stanowiących o sile zabezpieczeń antywłamaniowych domu jednorodzinnego pod względem poziomu ochrony oraz trudności zastosowania.

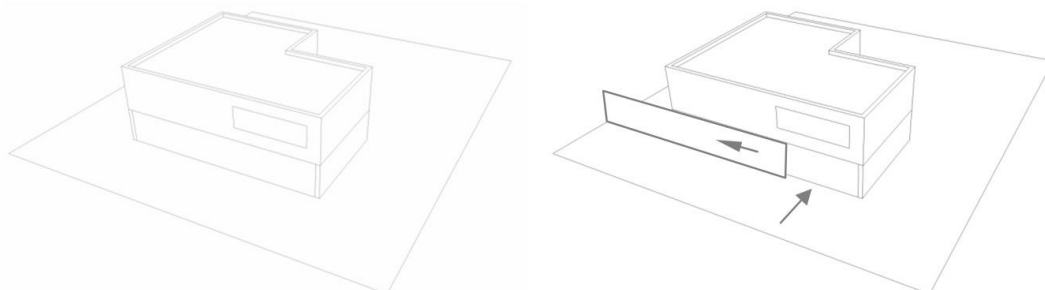
Lp	Komponent	Poziom ochrony	Poziom trudności zastosowania w projekcie
1	Przesuwne elementy	Wysoki	Trudny
2	Rolety antywłamaniowe	Niski	Łatwy
3	Podwyższony parter	Wysoki	Średni
4	Utrudnione wejście / wjazd	Wysoki	Średni
5	Solidne ogrodzenie	Średni	Łatwy
6	Ciężkie do sforsowania materiały	Wysoki	Łatwy
7	Bezprzewodowy Smart Home	Średni <sup>1</sup>	Łatwy
8	Przewodowy Smart Home	Wysoki <sup>1</sup>	Średni

Wartym zainteresowania, aczkolwiek stanowiącym duże wyzwanie dla projektantów, rozwiązaniem są mobilne elementy kształtujące przestrzeń wedle własnych potrzeb. Dla przykładu zamiast standardowej bramy garażowej, można zastosować przesuwne ściany (Rys. 7).

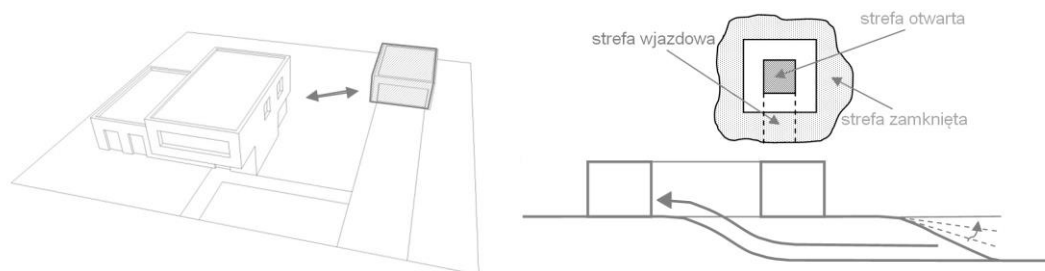
W tym miejscu warto wspomnieć o nowatorskim rozwiązaniu jakim jest cardok, czyli chowany pod ziemią garaż. Jak zapewniają producenci – (...), *Cardok to wyjątkowo bezpieczna forma parkowania. W porównaniu do tradycyjnego garażu jest on niedostępny w opuszczonym położeniu.* Dodatkowo należałoby pokryć wierzchnią warstwę platformy powierzchnią dopasowaną do

<sup>1</sup> Ocena przy założeniu zastosowania alternatywnych rozwiązań prądotwórczych w przypadku braku prądu.

otoczenia, aby się nie wyróżniała. Idea w szczególności sprawdzi się na wąskich działkach, gdzie przestrzeń ogrodu jest ograniczona. W przypadku większych działek, postawienie garażu jako obiektu wolnostojącego, w innej części działki lub przynajmniej bez możliwości przejścia do części mieszkalnej uznawane jest za dobry pomysł (Rys. 8). Na domiar tego zlokalizowanie ukrytego w skarpie wjazdu pozwala nam wykreować trudno dostępną twierdzę (Rys. 9).

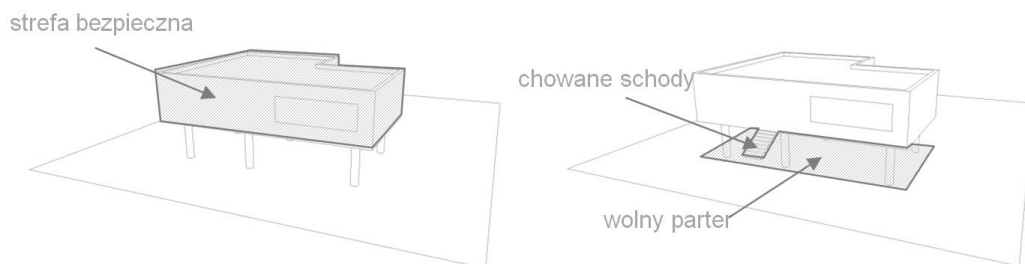


**Rys. 7.** Przesuwana ściana jako brama garażowa.



**Rys. 8.** Garaż wolnostojący, oddzielony od części mieszkalnej. **Rys. 9.** Ukryty w skarpie wjazd.

Kolejne skuteczne rozwiązanie stanowi podwyższony parter. Za dodatkowe utrudnienie uznaje się zastosowanie mobilnego wejścia do obiektu w postaci chowanych w stropie schodów, oddzielając tym samym część mieszkalną od parteru (Rys. 10).



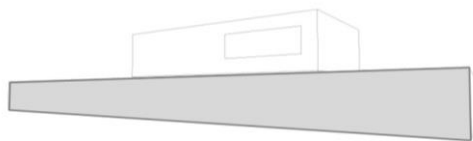
**Rys. 10.** Oddzielenie części mieszkalnej od parteru (strefa bezpieczna).

Wysoki wpływ na poczucie bezpieczeństwa bez wątpienia ma zastosowanie solidnych materiałów oraz bezpiecznego ogrodzenia. Przeszkoda powinna być na tyle wysoka, aby uniemożliwić swobodne jej przeskoczenie, pamiętając przy tym o prostej formie utrudniającej wspinanie. Należy również mieć na uwadze maksymalną wysokość, która wynosi 2,20m.<sup>1</sup>

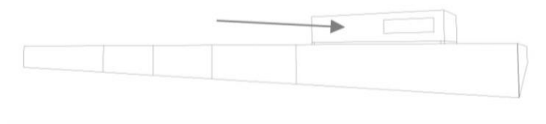
<sup>1</sup> Pod warunkiem zgodności z zapisami MPZP. Budowa wyższego ogrodzenia niż 2,20m wymaga zgłoszenia.

## Przegląd badań

Warto dostosować ogrodzenie do naszego domu oraz jego usytuowania. W przypadku, gdy obiekt znajduje się na małej działce dobrym pomysłem jest podwyższenie muru, aby zasłonić przynajmniej część parterową obiektu (Rys. 11). Natomiast na rozległej działce warto umiejscowić dom w głąbi przy zachowaniu niższego ogrodzenia (Rys. 12).



**Rys. 11.** Wysokość ogrodzenia zasłaniająca parter.



**Rys. 12.** Garaż wolnostojący, oddzielony od części mieszkalnej.

Przechodząc do aspektu ażurowości ogrodzenia, pełny mur z pewnością jest solidniejszy i w większym stopniu chroni przed wtargnięciem na posesję niż ażurowy. Uzupełnienie formy stanowi jego zwieńczenie, które warto wzbogacić o ostro zakończone elementy.<sup>1</sup>

W teorii systemy smart home z pewnością mają dużo do zaoferowania pod względem fizycznej ochrony antywłamaniowej, jednakże tego typu automatyzacja wkracza w dziedzinę cyberprzestępczości. Biorąc to pod uwagę bezpieczniejszy jest system przewodowy, który w celu zhackowania wymaga fizycznego dostępu. Natomiast systemy bezprzewodowe mogą zostać przejęte zdalnie, nawet z dużej odległości. Za układem przewodowym przemawia także mniejsza awaryjność, gdyż przy znacznie rozbudowanym systemie urządzeń bezprzewodowych pojawiają się problemy z ich komunikacją. Dodatkowym zabezpieczeniem byłoby wybranie formy zdecentralizowanej, czyli bez obecności jednostki centralnej, dzięki czemu w przypadku awarii jednego z urządzeń pozostałe będą działać. Według specjalistów z ENISA zaleca się, aby urządzenia składające się na system inteligentnego domu były jednorodny, a więc pochodziły od jednego producenta.

Warto wspomnieć jak się ochronić w przypadku braku prądu. Biorąc pod uwagę dzisiejsze standardy zaleca się posiadanie własnego systemu paneli słonecznych z akumulatorem bądź awaryjnego agregatu prądotwórczego.

Opisanymi w artykule sposobami możemy znacząco zniwelować możliwość włamania się zarówno fizycznego jak i wirtualnego. Dalsze badania w tym temacie mogłyby wykreślać sposoby, które w przyszłości przyczyniłyby się do poprawienia ochrony antywłamaniowej domów jednorodzinnych. Wyniki badań pozwalają stwierdzić, iż kształtowanie formy architektonicznej w oparciu o poruszone w artykule kwestie, uchodzą za słuszne podejście do problemu ze względu na niezmienny, wysoki wskaźnik statystyki włamań.

## 5. Literatura

Antkiewicz J (2019) Nieupoważnionym wstęp wzbroniony, Budujemy Dom Nr 1-2: 121-130

Cardok <https://www.cardok.com/>

European Union Agency for Cybersecurity (ENISA) (2015) Security and Resilience of Smart Home Environments. ISBN: 978-92-9204-141-0.

Garbarek N (2021) [https://www.benchmark.pl/testy\\_i\\_recenzje/systemy-inteligentnego-domu-przewodowy-i-bezprzewodowy.html](https://www.benchmark.pl/testy_i_recenzje/systemy-inteligentnego-domu-przewodowy-i-bezprzewodowy.html)

Grochowska E <https://www.planergia.pl/post/zhakowana-pralka-wlam-do-telewizora-czy-cyberatak-na-dom-inteligentny-jest-mozliwy>

Konieczny R. <https://www.kwkpromes.pl/>

Maj M (2019) <https://niebezpiecznik.pl/post/komendy-glosowe-mozna-wydawac-laserem-siri-alexa-i-google-podatne-na-atak/>

<sup>1</sup> Ostro zakończone elementy dopuszcza się wyłącznie na wysokości ponad 1,80m.



## **9. Analiza wydychanego powietrza pod kątem diagnostycznym z wykorzystaniem mikroekstrakcji do fazy stałej i chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrią mas**

Analysis of exhaled air for diagnostic purposes using solid phase microextraction and gas chromatography hyphenated with mass spectrometry

Marcelina Rusin<sup>(1,2)</sup>, Aneta Woźniakiewicz<sup>(2)</sup>, Justyna Dobrowolska-Iwanek<sup>(3)</sup>, Michał Woźniakiewicz<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Uniwersytet Jagielloński, Szkoła Doktorska Nauk Ścisłych i Przyrodniczych

<sup>(2)</sup> Uniwersytet Jagielloński, Wydział Chemii, Zakład Chemii Analitycznej

<sup>(3)</sup> Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum, Wydział Farmaceutyczny, Zakład Bromatologii

Marcelina Rusin: marcelina.rusin@doctoral.uj.edu.pl

Opiekun naukowy: dr hab. Michał Woźniakiewicz, prof. UJ

**Słowa kluczowe:** SPME, GC-MS, lotne związki organiczne, biomarkery chorób

### **Streszczenie**

Możliwości wykorzystania wyników analizy wydychanego powietrza w celach diagnostycznych otwierają nowe obszary prowadzenia badań naukowych. Dzięki nieinwazyjnemu sposobowi pobierania próbki oraz różnorodności związków w niej zawartych, wydychane powietrze stanowić może alternatywę dla innego rodzaju próbek biologicznych, rutynowo pobieranych w sposób inwazyjny i często nieprzyjemny dla pacjenta. Metoda SPME-GC-MS jest najczęściej wykorzystywaną metodą do analizy wydychanego powietrza na potrzeby diagnostyczne i analiz środowiskowych. Technika ta charakteryzuje się wysoką czułością, przy równoczesnym stosowaniu małych ilości sorbentu w stosunku do objętości próbki. Obecnie, prace nad zastosowaniami diagnostycznymi SPME-GC-MS koncentrują się głównie na poszukiwaniach korelacji profili wydychanego powietrza, które stanowią swoistego rodzaju odcisk palca, z wybranymi jednostkami chorobowymi, prowadząc w ten sposób do opracowania nowych metod na potrzeby szybkiej diagnostyki, nawet weczesnym stadium choroby oraz kontroli przebiegu leczenia.

### **1. Wstęp**

Obecnie, wiele ośrodków naukowych koncentruje swoje badania na poszukiwaniu nieinwazyjnych metod pobierania próbek do celów diagnostycznych. Stąd, coraz częściej próbki biologiczne, takie jak krew, mocz czy wycinki tkanek, zastępuje się materiałem pobieranym mniej inwazyjnie, jak na przykład wydychanym powietrzem. Stanowi ono złożoną mieszaninę składającą się głównie z azotu, tlenu, tlenku węgla (IV) oraz pary wodnej. Jednak wśród tych gazów znajdują się również inne lotne i nielotne związki, w tym endogenne metabolity, często występujące w śladowych ilościach (Lourenço i Turner 2014). Obecność oraz stężenie niektórych z nich można powiązać ze stanem zdrowia człowieka, a co za tym idzie możliwa jest identyfikacja biomarkerów różnych chorób, m.in. układu oddechowego czy pokarmowego, a także wielu typów nowotworów.

#### **1.1 Lotne związki organiczne**

W skład wydychanego powietrza wchodzi bardzo duża grupa związków zwana lotnymi związkami organicznymi (LZO), które mogą być pochodzenia zarówno endo- jak i egzogenne. Ich obecność związana jest ze stanem zdrowia człowieka, jego dietą, ale także nawykami oraz często czynnikami środowiskowymi. Identyfikacja tych substancji w wydychanym powietrzu może dostarczyć wielu istotnych informacji na temat stanu zdrowia pacjenta, stąd badania ukierunkowane są na poszukiwanie biomarkerów chorób o różnej etiologii (Buszewski i in. 2013). Interesującym jest, że obecność lub/i poziom stężenia już jednego związku z grupy LZO może wskazywać na poważne problemy zdrowotne. Przykładem może być aceton, ciało ketonowe, które jest naturalnym produktem

przemiany materii powstającym podczas lipolizy. U pacjentów z nieleczoną bądź niekontrolowaną cukrzycą, gdy główne źródło energii stanowią tłuszcze, rozwinąć może się kwasica ketonowa, która prowadzi do podwyższonego stężenia ciał ketonowych w moczu i krwi, przechodząc również do układu oddechowego. Zatem wyczuwalny zapach i wysokie stężenie acetonu w wydychanym powietrzu, stanowi biomarker cukrzycy (Deng i in. 2004). Innym prostym i powszechnym produktem metabolizmu jest izopren, którego pochodzenie wiąże się ze szlakiem biosyntezy cholesterolu. Aktywność kluczowego enzymu tego szlaku może być hamowana przez leki, których stosowanie obniża stężenie izoprenu w wydychanym powietrzu. Dlatego też związek ten jest traktowany jako marker syntezy cholesterolu, a jego stężenie po

winno być monitorowane szczególnie u osób cierpiących na hipercholesterolemię (Hyšpler i in. 2000). Innym przykładem substancji należącej do LZO, jednak niezwiązanej z przemianami metabolicznymi jest benzen, klasyfikowany jako związek rakotwórczy dla ludzi. Obecność benzenu w wydychanym powietrzu może być wykorzystana do oceny narażenia zawodowego na tę substancję w miejscu pracy. To ważne, ponieważ długotrwała ekspozycja na benzen może przyczynić się do rozwoju wielu problemów zdrowotnych, w tym dyskrazji krwi czy nawet białaczki (Amorim i in. 2008).

### 1.2 Mikroekstrakcja do fazy stałej (SPME)

Istotnym etapem procesu analitycznego, który wymagany jest dla większości metod analitycznych, jest przygotowanie próbek do analizy. Etap ten może obejmować różne procesy, takie jak przeprowadzenie próbki do wymaganego stanu, wzbogacenie lub rozcieńczenie, minimalizacja czynników zakłócających analizę, czy też derywatywacja analitów. Szczególnym typem materiału do badań są wspomniane próbki biologiczne, które ze względu na złożoną matrycę często wymagają wieloetapowego przygotowania do analizy.

Skupiając się jednak na wydychanym powietrzu analizowanym pod kątem klinicznym czy analiz środowiskowych, trzeba podkreślić, że do jego analizy stosowana jest przede wszystkim chromatografia gazowa sprzężona ze spektrometrią mas (ang. *Gas chromatography – mass spectrometry*, GC-MS) (Buszewski i in. 2013). Technika ta często wykorzystywana jest również w połączeniu z jedną z najpopularniejszych metod przygotowania próbek jaką jest mikroekstrakcją do fazy stałej (ang. *Solid-phase microextraction*, SPME). SPME została opracowana przez prof. Pawliszyna i współpracowników w 1989 roku (Arthur i Pawliszyn 1990) jako wydajna alternatywa dla metody ekstrakcji w układzie ciecz-ciecz (ang. *Liquid-liquid extraction*, LLE). Włókno SPME wykonane jest ze stopionej krzemionki pokrytej powłoką polimerową jako fazą stacjonarną i umieszczone jest w strzykawce, która chroni je przed uszkodzeniem. Zasada działania SPME polega na kontakcie włókna pokrytego odpowiednim materiałem sorpcyjnym z matrycą próbki przez określony czas, przez co ustala się równowaga stężeń między matrycą próbki a sorbentem. Dlatego istotnym aspektem jest dobór właściwego sorbentu, który będzie wykazywał odpowiednią selektywność wobec analitów próbki i zapewniał wysoką wydajność procesu ekstrakcji. Istotny jest fakt, że dzięki zastosowaniu tej techniki można uzyskać wysoką wydajność przez stosowanie małych ilości sorbentu w stosunku do objętości próbki oraz bezpośrednio wprowadzaniu całej ekstrahowanej objętości do aparatu poprzez desorpcję w dozowniku (Reyes-Garcés i in. 2018; Lord i Pawliszyn 2000).

## 2. Zastosowania diagnostyczne metody SPME-GC-MS

Rosnąca liczba opublikowanych prac wskazuje, że analiza wydychanego powietrza jest obszarem badawczym przyciągającym uwagę wielu naukowców. Badania skupiają się na korelacji profili wydychanego powietrza z wybranymi jednostkami chorobowymi, przyczyniając się w ten sposób do opracowania nowych metod na potrzeby szybkiej diagnostyki i kontroli przebiegu leczenia. Poniżej przedstawiono przegląd prac, w których zastosowano technikę SPME-GC-MS w badaniu wydychanego powietrza na potrzeby diagnostyczne. W Tabeli 1 zamieszczono informacje stanowiące uzupełnienie opisu wykorzystywanych procedur analitycznych.

## 2.1 Choroby płuc

Rak płuc jest chorobą cywilizacyjną, będącą najczęstszą przyczyną śmierci na świecie spośród wszystkich chorób nowotworowych (według danych Światowej Organizacji Zdrowia, WHO). Dlatego też wiele z opublikowanych badań koncentruje się na analizie wydychanego powietrza, ze szczególnym uwzględnieniem profilowania biomarkerów tej choroby. W tym celu, oznaczane są między innymi lotne związki organiczne, takie jak węglowodory alifatyczne i aromatyczne, alkohole, aldehydy czy aminy.

Gaspar i wsp. (2009) oznaczali liniowe i rozgałęzione węglowodory w wydychanym powietrzu pacjentów u których zdiagnozowano nowotwór płuc, a którzy byli poddani leczeniu radio- lub chemioterapią lub nie rozpoczęli jeszcze terapii (w tym nałogowi palacze). Oprócz pacjentów z rakiem płuc w badaniu wzięli również udział zdrowi ochotnicy, w tym również palacze. W badaniu zastosowano włókno pokryte polidimetylosiloksanem (PDMS), dla którego wykazano, że jest najbardziej wydajną powłoką dla analizy związków lotnych obecnych w śladowych ilościach. Uzyskane wyniki pomiarów opracowano za pomocą wielowymiarowych metod analizy danych. Przeprowadzono analizę składowych głównych (ang. *Principal component analysis*, PCA) mającą na celu wskazanie zmiennych, które w największym stopniu opisują zmienność grupy badanej. Analiza dyskryminacyjna pozwoliła na klasyfikację pacjentów i rozróżnienie grupy zdrowych palaczy i zdrowych osób niepalących od pacjentów z rakiem płuc poddanych leczeniu, a także nieleczonych pacjentów. Uzyskane wyniki wskazały na korelację między składem wydychanego powietrza a stanem zdrowia pacjentów. Dla pacjentów z rakiem płuc poddanych leczeniu charakterystycznymi związkami obecnymi w wydychanym powietrzu były 2-metylotridekan i 3-metylotetradekan (Gaspar in. 2009). W innym badaniu z kolei podjęto działania mające na celu identyfikację prostych lotnych aldehydów, które potencjalnie mogłyby posłużyć jako biomarkery uszkodzenia tkanek u pacjentów z niedrobnokomórkowym rakiem płuc (ang. *Non-small cell lung cancer*, NSCLC). Badaniu poddano więc pacjentów z takim rodzajem nowotworu i porównano profile ich wydychanego powietrza z profilami zdrowych, niepalących ochotników. Badacze wykorzystali technikę SPME w połączeniu z procesem derywatywacji przeprowadzonym na włóknie do wzbogacenia próbki z uwagi na bardzo niskie zawartości analitów w pobranym materiale, co umożliwiło również rozróżnienie izomerów analizowanych aldehydów. Na podstawie otrzymanych wyników analiz wytypowano pacjentów z rakiem płuc, we wczesnym, przebiegającym bezobjawowo stadium. Wśród aldehydów, które umożliwiły wyróżnienie pacjentów z NSCLC znalazły się m.in. butanal, heksanal czy nonanal (Poli i in. 2010). Diagnostyka pacjentów we wczesnym stadium choroby jest szczególnie istotna, bowiem złe rokowania chorych na raka płuc wynikają często z braku narzędzi odpowiednich do jego wczesnego wykrywania. Rozwój techniki SPME-GC-MS daje szanse na opracowanie metod, które umożliwiłyby wczesne wykrycie choroby, a co za tym idzie szybkie podjęcie leczenia, a w konsekwencji poprawę rokowań.

## 2.2 Nałóg palenia wyrobów tytoniowych

Kolejnym ważnym obszarem badawczym związanym z analizą wydychanego powietrza jest badanie wpływu nałogu palenia na jego chemiczny profil. W literaturze przedmiotu opisywane są badania porównawcze składu wydychanego powietrza pobranego od osób niepalących, osób palących, a także osób, które rzuciły palenie. Przykładem, może być analiza wydychanego powietrza pobranego od zdrowych ochotników przeprowadzona przez Ligora i wsp. (2008) Dodatkowo, badacze porównali profile chemiczne pobranych próbek od uczestników z próbkami powietrza z pomieszczenia szpitalnego, w którym pobierano próbki od pacjentów. Wskutek przeprowadzonej analizy wykryto szereg związków organicznych z różnych grup, takich jak: alkohole, węglowodory, ketony, związki furanowe czy też substancje zawierające siarkę. Zidentyfikowano łącznie 38 związków w próbkach pobranych od ochotników, z czego część z nich wykazywała wyższe stężenie w wydychanym powietrzu niż w powietrzu otoczenia, co jest następstwem naturalnych procesów metabolicznych zachodzących w organizmie człowieka. Niektóre z nich były charakterystyczne dla aktywnych osób palących tytoń, jak np. acetonitryl i 2-metylofuran. U znaczącej części badanych, zarówno wśród grupy osób palących jak i niepalących, wykryto również rakotwórczy benzen i szkodliwy toluen, będące związkami egzogennymi, których głównymi źródłami są dym tytoniowy

oraz spaliny samochodowe (Ligor i in. 2008). Przeprowadzono również badania mające na celu sprawdzenie, czy palenie e-papierosów wykorzystujących waporyzację roztworów nikotyny w glicerolu, których popularność znacząco wzrosła w przeciągu ostatniej dekady, jest mniej szkodliwe dla zdrowia niż palenie tradycyjnych papierosów. Stosując wielowymiarową analizę chemometryczną określono różnice w profilu wydychanego powietrza pobranego od osób palących papierosy, użytkowników e-papierosów oraz osób niepalących. Skład wydychanego powietrza badanych grup był zróżnicowany, a szeroka gama oznaczonych LZO została dodatkowo skorelowana z użytkownikami e-papierosów. Substancje te są charakterystyczne dla dodatków smakowych używanych w płynach do tych urządzeń. Wiele z tych związków jest stosowanych również w przemyśle spożywczym, ale skutki ich inhalacji nie są znane. Wśród tych związków można wyróżnić m.in. diacetyl, aldehyd cynamonowy, czy benzaldehyd. Przeprowadzone analizy stanowią pierwszy krok w kierunku poznania i porównania długoterminowych skutków zdrowotnych różnych rodzajów papierosów przy użyciu nieinwazyjnej metody jaką jest SPME-GC-MS (Papaefstathiou in. 2020).

### 2.3 Inne choroby

Analiza wydychanego powietrza za pomocą SPME-GC-MS znalazła zastosowanie w diagnostyce również innych schorzeń, m.in. chorób układu pokarmowego. Stosowane obecnie metody diagnostyczne, takie jak endoscopia przewodu pokarmowego z biopsją, charakteryzują się dużą dokładnością, ale są jednak bardzo inwazyjne i nieprzyjemne dla pacjenta. Dlatego przeprowadzono kilka badań w poszukiwaniu biomarkerów schorzeń układu pokarmowego w wydychanym powietrzu. Przykład może stanowić analiza wydychanego powietrza przeprowadzona przez zespół Wang i wsp. (2014) ukierunkowana na identyfikację biomarkerów raka jelita grubego (ang. *Colorectal cancer*, CRC), który jest trzecim najczęściej występującym typem nowotworu na świecie. W badaniu wzięli udział pacjenci z gruczolakorakiem zarówno we wczesnym jak i późnym stadium choroby, a także zdrowi ochotnicy (grupa kontrolna). W oparciu o wyniki badań wydychanego powietrza przeprowadzono analizę składowych głównych, co umożliwiło rozróżnienie pacjentów według stanu ich zdrowia. Dla potwierdzenia wyników przeprowadzono również analizę metodą cząstkowych najmniejszych kwadratów (ang. *Partial Least-Squares Discriminant Analysis*, PLS-DA), która potwierdziła wcześniej zastosowany model. W ten sposób wybrano 9 biomarkerów metabolicznych, związanych ze szlakiem proliferacji komórek nowotworowych, w tym m.in. 2-metylopropanian, cykloheksanon czy etyloanilinę. Wyniki tej analizy mogą stanowić podstawę do poszerzenia zastosowania SPME-GC-MS w badaniach przesiewowych dla identyfikacji pacjentów z CRC (Wang i in. 2014). W innym badaniu analizowano lotne metabolity organiczne do identyfikacji i różnicowania pacjentów z różnego rodzaju chorobami żołądka – rakiem żołądka, wrzodem żołądka i zapaleniem błony śluzowej żołądka. Przeprowadzono wielowymiarową analizę danych, na podstawie której zidentyfikowano metabolity charakterystyczne dla poszczególnych rodzajów schorzeń, które pozwoliły na rozróżnienie pacjentów z rakiem żołądka od pacjentów z pozostałymi chorobami. Były to m.in. kaprolaktam, nonanal czy benzotiazol. Badania te potwierdziły istnienie specyficznych profili LZO w wydychanym powietrzu dla poszczególnych jednostek chorobowych żołądka, co może zostać wykorzystane do postawienia diagnozy na wczesnym etapie rozwoju nowotworu (Tong i in. 2017).

Profilowanie LZO w wydychanym powietrzu może również dostarczyć informacji niezbędnych do wczesnej diagnozy raka piersi – choroby nowotworowej, która również stanowi bardzo częstą przyczynę zgonu. W przeprowadzonym badaniu przez zespół Zhanga i wsp. (2020) poddano analizie materiał pobrany od pacjentek ze zdiagnozowanym rakiem przewodowym in situ (ang. *Ductal carcinoma in situ*, DCIS), który jest przedinwazyjnym stadium raka piersi. W badaniu tym wzięły udział osoby z rakiem piersi (z przerzutami i bez), rakiem żołądka oraz zdrowi ochotnicy. Otrzymane w toku badań wyniki poddano analizie statystycznej, w wyniku której siedem LZO uznano za swoiste wydychane biomarkery dla DCIS, w tym m.in. cyklopentanon czy węglan etylenu (1,3-dioksolan-2-on). Dzięki zastosowanej technice, możliwa jest identyfikacja tych związków występujących nawet w niskich stężeniach, we wczesnym stadium DCIS. Jest to bardzo cenna

informacja, zważywszy szczególnie na fakt, iż rak piersi, często identyfikowany w zbyt późnym stadium, może nie poddawać się odpowiedniemu leczeniu (Zhang i in. 2020).

#### 2.4 COVID-19

Przedstawione przykłady zastosowań analizy wydychanego powietrza pokazują, że od lat badane są możliwości wykorzystania SPME w tego typu analizie, a co ważne kwestia ta jest nadal istotnym aspektem badań, który cały czas jest rozwijany. Pokazał to zwłaszcza wybuch globalnej pandemii, ogłoszony w 2020 roku, który skierował naukowców do poszukiwania szybkich, nieinwazyjnych metod analizy biomarkerów choroby COVID-19. Do szybkiej identyfikacji SARS-CoV-2 stosuje się nie tylko testy immunologiczne i testy molekularne, ale także SPME-GC-MS, które wykazuje wysoką czułość, dzięki czemu możliwa jest identyfikacja większej liczby LZO w porównaniu do innych metod analitycznych. W jednym z badań, analizowano LZO pochodzące z masek wcześniej noszonych przez pacjentów z potwierdzonym testem COVID-19. Zastosowano w tym celu technikę analizy fazy nadpowierzchniowej (ang. *Headspace*, HS), która umożliwia analizę par związków znad powierzchni badanej substancji bądź materiału. Badanie to dotyczyło więc pośrednio wydychanego powietrza. Interesujący był jednak fakt, że badacze oprócz wykorzystania techniki HS-SPME-GC-MS, przeprowadzili eksperyment mający na celu wykrywanie zapachu w celu diagnostyki COVID-19 przez psy. Psy trenowano za pomocą koła treningowego, na którym umieszczano maseczki zdrowych i chorych osób oraz kalibrant, tak by umożliwić psom wykrywanie znajomego dla nich kalibranta wprowadzając jednocześnie zapach odpowiedni dla choroby. W ten sposób przeprowadzono badanie z wykorzystaniem zarówno techniki analitycznej jak i umiejętności zwierząt, które umożliwiło wyodrębnienie grupy chorych i zdrowych pacjentów (Mendel i in. 2021). Inna grupa badaczy potwierdziła również, że profil LZO w wydychanym powietrzu ulega znacznej zmianie w wyniku COVID-19, co związane jest ze znacznie wyższym całkowitym stężeniem i liczbą LZO u chorych osób w porównaniu do zdrowych ochotników. Ponadto, możliwa była identyfikacja potencjalnych biomarkerów związanych z replikacją wirusa, jak np. terpeny, terpenoidy oraz ich estry, które są związane z możliwym stresem oksydacyjnym występującym podczas choroby (Woollam i in. 2022).

**Tab.1.** Przykłady zastosowania SPME-GC-MS w diagnostyce chorób.

<b>Włókno SPME</b>	<b>Sposób pobrania próbki</b>	<b>Zastosowanie</b>	<b>Źródło literaturowe</b>
65 µm PDMS/DVB	Wydychane powietrze zebrane w 3-litrowych workach Tedlar	Cukrzyca	Deng i in. 2004
75 µm CAR/PDMS	Wydychane powietrze zebrano za pomocą masek oddechowych do 8,1-litrowych worków Tedlar	Cholesterol	Hyšpler i in. 2000
50/30 µm DVB/CAR/PDMS	Oddech zebrany przez bezpośrednie wydychanie powietrza na włókno SPME	Narażenie na bezsenność	Amorim i in. 2008
100 µm PDMS	Wydychane powietrze zebrane w 5-litrowych workach Tedlar	Rak płuc	Gaspar in. 2009
65 µm PDMS/DVB	Wydychane powietrze zebrano do próbowki Bio-VOC® (150 ml)	Rak płuc	Poli i in. 2010
75 µm CAR/PDMS	Wydychane powietrze zebrane w 3-litrowych workach Tedlar	Palenie tytoniu	Ligor i in. 2008
75 µm CAR/PDMS	Wydychane powietrze zebrane w 1-litrowych workach Tedlar	Palenie tytoniu	Papaefstathiou in. 2020
75 µm CAR/PDMS	Wydychane powietrze pobrano do gazoszczelnej strzykawki (20 ml)	Rak jelita grubego	Wang i in. 2014
75 µm CAR/PDMS	Wydychane powietrze pobrano do gazoszczelnej strzykawki (20 ml)	Choroby żołądka	Tong i in. 2017

Włókno SPME	Sposób pobrania próbki	Zastosowanie	Źródło literaturowe
75 µm	Wydychane powietrze pobrano do gazoszczelnej strzykawki (20 ml)	Rak piersi	Zhang i in. 2020
DVB/CAR/PDMS	Maski noszone przez pacjentów podczas wizyt lekarskich	COVID-19	Mendel i in. 2021
PDMS/CAR/DVB	Wydychane powietrze zebrane w 3-litrowych workach Tedlar	COVID-19	Woollam i in. 2022

### 3. Podsumowanie

Badania przedstawione w literaturze przedmiotu pokazują, jak cenną próbką biologiczną jest wydychane powietrze, szczególnie przy wykorzystaniu dla celów diagnostycznych. Wynika to między innymi z ilości i różnorodności związków w nim zawartych, które mogą być biomarkerami różnych chorób. Ze względu na to, że wydychane powietrze jest złożoną matrycą i zależy od wielu czynników, badania przeprowadza się głównie w celu określenia profilu wydychanego powietrza, który uważany jest za swego rodzaju odcisk palca. Ponadto, wykorzystanie techniki SPME-GC-MS, która charakteryzuje się szybkością i łatwością w wykonaniu procedury przygotowania próbek, a także pozwala na analizę jakościową i ilościową z wysoką czułością, umożliwia wykrycie szerokiego zakresu analitów dla szeregu zastosowań. Przedstawione przykłady wskazują na użyteczność tej techniki w identyfikacji wielu chorób oraz czynników, mających wpływ na skład wydychanego powietrza.

### 4. Literatura

- Amorim LCA, Carneiro JP, Cardeal ZL (2008) An optimized method for determination of benzene in exhaled air by gas chromatography–mass spectrometry using solid phase microextraction as a sampling technique. *Journal of Chromatography B*. 865(1-2): 141-146
- Arthur CL i Pawliszyn J (1990) Solid phase microextraction with thermal desorption using fused silica optical fibers. *Analytical Chemistry* 62(19): 2145-2148
- Buszewski B, Grzywinski D, Ligor T i in. (2013) Detection of volatile organic compounds as biomarkers in breath analysis by different analytical techniques. *Bioanalysis* 5(18): 2287-2306
- Deng C, Zhang J, Yu X i in. (2004) Determination of acetone in human breath by gas chromatography-mass spectrometry and solid-phase microextraction with on-fiber derivatization. *Journal of Chromatography B* 810(2): 269-275
- Gaspar EM, Lucena AF, Duro da Costa J i in. (2009) Organic metabolites in exhaled human breath- A multivariate approach for identification of biomarkers in lung disorders. *Journal of Chromatography A* 1216(14): 2749-2756
- Hyšpler R, Crhová Š, Gasparič J i in. (2000) Determination of isoprene in human expired breath using solid-phase microextraction and gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Chromatography B* 739(1): 183-190
- Ligor T, Ligor M, Amann A i in. (2008) The analysis of healthy volunteers' exhaled breath by the use of solid-phase microextraction and GC-MS. *Journal of Breath Research* 2(4): 046006
- Lord H i Pawliszyn J (2000) Evolution of solid-phase microextraction technology. *Journal of Chromatography A* 885(1-2): 153-193
- Lourenço C i Turner C (2014) Breath analysis in disease diagnosis: methodological considerations and applications. *Metabolites* 4(2): 465-498
- Mendel J, Frank K, Edlin L i in. (2021) Preliminary accuracy of COVID-19 odor detection by canines and HS-SPME-GC-MS using exhaled breath samples. *Forensic Science International: Synergy* 3: 100155
- Papaefstathiou E, Stylianou M, Andreou C i in. (2020) Breath analysis of smokers, non-smokers, and e-cigarette users. *Journal of Chromatography B* 1160: 122349

- Poli D, Goldoni M, Corradi M i in. (2010) Determination of aldehydes in exhaled breath of patients with lung cancer by means of on-fiber-derivatisation SPME–GC/MS. *Journal of Chromatography B* 878(27): 2643-2651
- Reyes-Garcés N, Gionfriddo E, Gómez-Ríos GA i in. (2018) Advances in Solid Phase Microextraction and Perspective on Future Directions. *Analytical Chemistry* 90(1): 302-360
- Tong H, Wang Y, Li Y i in. (2017) Volatile organic metabolites identify patients with gastric carcinoma, gastric ulcer, or gastritis and control patients. *Cancer Cell International* 17: 108
- Wang C, Ke C, Wang X i in. (2014) Noninvasive detection of colorectal cancer by analysis of exhaled breath. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 406(19): 4757-4763
- Woollam M, Angarita-Rivera P, Siegel AP i in. (2022) Exhaled VOCs can discriminate subjects with COVID-19 from healthy controls. *Journal of Breath Research* 16(3): 036002
- Zhang Y, Guo L, Qiu Z i in. (2020) Early diagnosis of breast cancer from exhaled breath by gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS) analysis: A prospective cohort study. *Journal of Clinical Laboratory Analysis* 34(12): e23526

## Przegląd badań



## **10. Doświadczalne badanie wytrzymałości na rozciąganie przędzy lnianej zaimpregnowanej żywicą epoksydową**

Experimental study of the tensile strength of flax yarn embedded in epoxy resin

Serafin Patryk<sup>(1)</sup>, Marszałek Jerzy<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

<sup>(2)</sup> Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Katedra Podstaw Budowy Maszyn, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

Opiekun naukowy: dr inż. Jerzy Marszałek

Marszałek Jerzy: [jmarszalek@ath.bielsko.pl](mailto:jmarszalek@ath.bielsko.pl)

**Słowa kluczowe:** kompozyty polimerowe, włókna naturalne, test rozciągania, badania doświadczalne

### **Streszczenie**

Polimerowe kompozyty warstwowe wzmocniane włóknami szklanymi i węglowymi, z uwagi na atrakcyjne właściwości mechaniczne, znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach przemysłu. Obecnie podejmuje się próby wykorzystania kompozytów, których wzmocnienie jest wykonane z naturalnych włókien roślinnych. Zainteresowanie włóknami naturalnymi w projektowaniu kompozytowych elementów konstrukcyjnych ma związek z tendencją przemysłu do recyklingu tworzyw, obniżenia kosztów wytwórczych oraz poszukiwania rozwiązań przyjaznych dla środowiska. Jednak w porównaniu z włóknami wytworzonymi sztucznie, właściwości mechaniczne włókien naturalnych zależą od dodatkowych czynników losowych, do których zalicza się m.in. warunki uprawy roślin. Powtarzalność właściwości mechanicznych włókien naturalnych sprawdzono na przykładzie przędzy z włókien lnianych. Doświadczalny test rozciągania przędz przesyconych i nieprzesyconych żywicą polimerową przeprowadzono na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej. Zaprojektowano specjalne uchwyty do mocowania nieprzesyconych przędz w maszynie wytrzymałościowej. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że przędza lniana nieprzesycona żywicą charakteryzuje się prawie dwukrotnie większym wydłużeniem w porównaniu z przędzą przesyconą, przy czym przędza przesycona żywicą może przenieść siłę rozciągającą większą o 30%. Jednak powtarzalność wyników testów rozciągania, zarówno przędz przesyconych i nieprzesyconych żywicą, nie jest zadowalająca (niepewność względna wydłużenia i siły maksymalnej w obu przypadkach jest większa od 5%). Niezadowalająca powtarzalność właściwości mechanicznych może utrudnić stosowanie przędz lnianych w projektowaniu kompozytowych konstrukcji inżynierskich.

### **1. Wstęp**

Współczesne konstrukcje inżynierskie charakteryzuje jednoczesna obecność materiałów konstrukcyjnych o różnych właściwościach mechanicznych (Królikowski i Biedunkiewicz 2012). W praktyce inżynierskiej powszechnie wykorzystuje się stale stopowe i stopy aluminium oraz stopy innych metali. Szczególną grupę materiałów konstrukcyjnych stanowią polimerowe kompozyty warstwowe (laminaty), ponieważ charakteryzują się budową warstwową i powstają w wyniku trwałego połączenia co najmniej dwóch komponentów (wzmocnienia i matrycy) na poziomie makroskalowym (Boczkowska i Krzesiński 2016). Laminaty znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach techniki, ponieważ charakteryzują się dobrymi właściwościami mechanicznymi i fizycznymi. Przede wszystkim laminaty charakteryzują się dużą wytrzymałością właściwą, która jest definiowana jako stosunek dwóch wielkości: wytrzymałości na rozciąganie i gęstości materiału. Z tego powodu laminaty znajdują zastosowanie w przemyśle lotniczym, motoryzacyjnym, stoczniowym i energetycznym w budowie lekkich i wytrzymałych konstrukcji. W laminacie wzmocnienie w postaci pasów rovingowych, włókien ciągłych, tkanin

rovingowych czy mat z ciętych włókien jest układane warstwowo i przesycane matrycą polimerową. Powszechnie stosowanymi włóknami na wzmocnienia laminatów są włókna szklane, węglowe i aramidowe, czyli włókna wytworzone sztucznie. Obecnie jest widoczny wzrost zainteresowania laminatami na bazie włókien naturalnych, co jest motywowane potencjalnymi korzyściami wynikającymi z niższej ceny włókien, możliwości łatwiejszego recyklingu termicznego laminatów z włókien naturalnych oraz ekologicznych korzyści mających związek z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii. W przypadku laminatów wzmocnionych włóknami sztucznymi (np. węglowymi), tylko niewielka ich część jest poddawana recyklingowi a pozostałe odpady są zazwyczaj składowane (Błędzki i in. 2019; Jastrzębska i Jurczak 2011). Włókna naturalne, pomimo wielu zalet, charakteryzują się mniejszą wytrzymałością na rozciąganie w porównaniu z włóknami szklanymi, węglowymi i aramidowymi. Dodatkowo właściwości mechaniczne włókien naturalnych zależą od dodatkowych czynników losowych, do których zalicza się m.in. warunki uprawy roślin. Dlatego w ramach przedstawionych poniżej badań doświadczalnych sprawdzono wytrzymałość na rozciąganie przędzy lnianej. Przede wszystkim określono powtarzalność otrzymanych wyników. Sprawdzone również wytrzymałość przędzy lnianej po przesyceniu żywicą epoksydową.

## 2. Materiał i metody

Próbki w postaci pojedynczych przędz lnianych zostały pobrane z tkaniny jednokierunkowej (Rys.1), której masa powierzchniowa wynosi  $200 \text{ g/m}^2$ . Dwadzieścia próbek o średniej długości równej 400 mm pobrano z miejsc pozbawionych zagięć i załamań. Dziesięć przędz lnianych zaimpregnowano żywicą epoksydową i utwardzano najpierw w temperaturze pokojowej (24 godziny) a następnie w temperaturze  $80^\circ\text{C}$  (5 godzin). Do próbek zaimpregnowanych przyklejono obustronnie aluminiowe płytki o wymiarach  $20 \times 50 \times 2 \text{ mm}$  (Rys.2) w celu zapewnienia odpowiedniego mocowania próbek w uchwytach maszyny wytrzymałościowej. Do wytworzenia próbek wykorzystano żywicę MGS® LR 285 i utwardzacz MGS® LH 285 wymieszane w proporcji wagowej 100:40. Długość pomiarowa w przypadku każdej próbki wynosiła 250 mm.

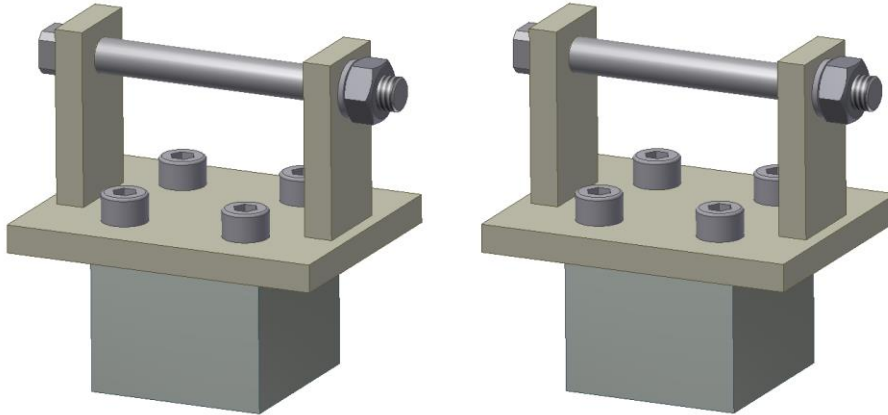


**Rys. 1.** Jednokierunkowa tkanina z przędz lnianych i przędze pobrane z tkaniny.

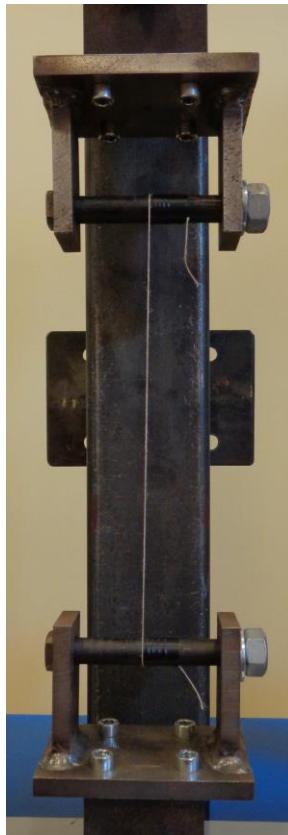


**Rys. 2.** Próbką w postaci przędzy lnianej zaimpregnowanej żywicą epoksydową.

Doświadczalne rozciąganie przędz przesyconych i nieprzesyconych żywicą epoksydową przeprowadzono na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej Inspekt Table Blue 5. W celu zamocowania przędz niezaimpregnowanych żywicą należało zaprojektować specjalne uchwyty (Rys.3). Przędza była mocowana na zasadzie co najmniej czterokrotnego owinięcia na wałku, przy czym przędza była dodatkowo zabezpieczana przed odwinięciem za pomocą taśmy klejącej (Rys.4). Z kolei przędze zaimpregnowane żywicą mocowano w szczękach maszyny wytrzymałościowej za pośrednictwem aluminiowych płytek. Podczas testów zadawano przemieszczenie trawersy maszyny wytrzymałościowej z prędkością 1 mm/min i rejestrowano wartość siły rozciągającej.



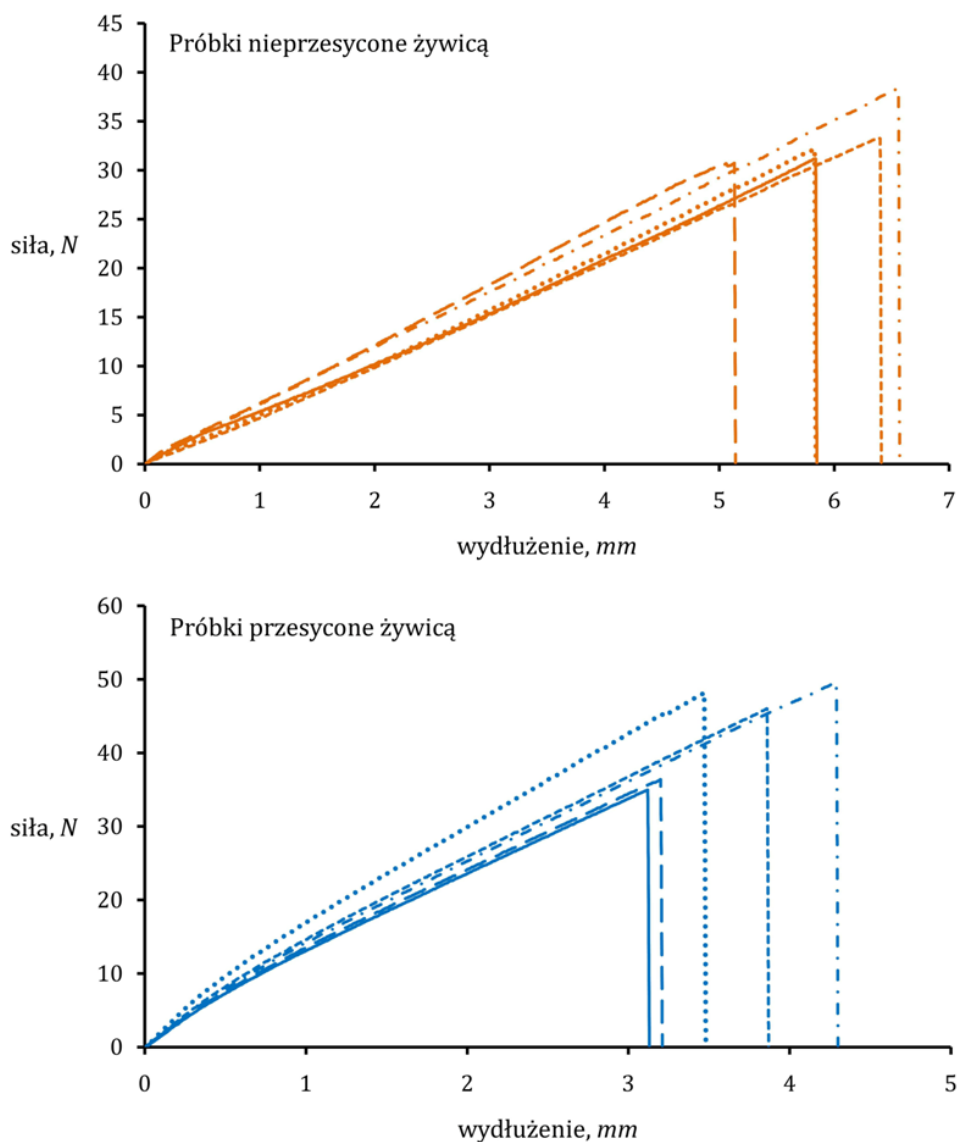
**Rys. 3.** Model CAD uchwytów do rozciągania przędz niezaimpregnowanych żywicą.



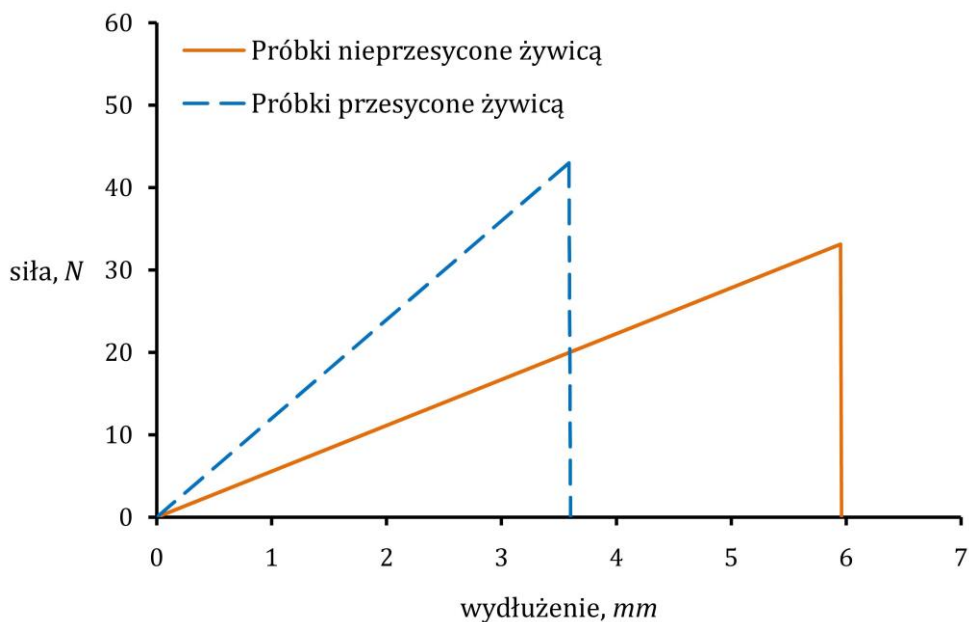
**Rys. 4.** Przędza niezaimpregnowana żywicą w uchwytach mocujących.

### 3. Wyniki i dyskusja

Na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych opracowano charakterystyki rozciągania przędz lnianych w układzie siła-wydłużenie (Rys.5). Wszystkie charakterystyki są liniowe dla całego zakresu pomiarowego (współczynnik determinacji  $R^2$  dla liniowej linii trendu w przypadku każdej przebadanej próbki jest większy od 0.98). Zerwanie przędz następuje nagle z wyraźnym spadkiem wartości siły rozciągającej. Wyznaczono również uśrednione charakterystyki rozciągania przędz przesyconych i nieprzesyconych żywicą (Rys.6). Opracowane wyniki badań zamieszczono w Tab.1. Korzystając z danych literaturowych (Marszałek i Stadnicki 2020) porównano charakterystykę rozciągania nieprzesyconej przędzy lnianej z charakterystyką rozciągania nieprzesyconego rovingu z włókien szklanych. Roving z włókien szklanych przenosi dwukrotnie większą siłę rozciągającą w porównaniu z przędzą z włókien lnianych.



**Rys. 5.** Przykładowe charakterystyki siła-wydłużenie dla przędz przesyconych i nieprzesyconych żywicą.



Rys. 6. Uśrednione charakterystyki doświadczalne.

Tab. 1. Wyniki badań doświadczalnych i niepewność pomiaru.

Rodzaj próbek	Wydłużenie	Siła maksymalna	Niepewność względna wydłużenia	Niepewność względna siły maksymalnej
nieprzesycone żywicą	5.95±0.56 mm	33.11±3.06 N	9.48 %	9.25 %
przesycone żywicą	3.59±0.49 mm	42.98±6.85 N	13.58 %	15.94 %

Należy zaznaczyć, że polimerowe kompozyty warstwowe oparte o włókna naturalne są od lat przedmiotem badań naukowych. Włókna pochodzenia naturalnego, w przeciwieństwie do włókien wytworzonych sztucznie (m.in. włókien węglowych, szklanych, aramidowych i poliestrowych) łatwiej podlegają recyklingowi i są biodegradowalne. Jednak kompozyty warstwowe ze wzmocnieniem pochodzenia naturalnego charakteryzują się mniejszą sztywnością i wytrzymałością, co utrudnia stosowanie tego typu materiałów w praktyce inżynierskiej w projektowaniu trwałych i wytrzymałych konstrukcji. Obecnie prowadzone są badania naukowe, których celem jest sprawdzenie właściwości mechanicznych kompozytów hybrydowych, w strukturze których jednocześnie występują włókna naturalne i włókna wytworzone sztucznie. Taki kompozyt łączy zalety dwóch rodzajów włókien, np. włókna szklane i lniane przenoszą obciążenie zewnętrzne, zwiększają sztywność i wytrzymałość, przy czym włókna lniane zmniejszają masę i zwiększają biodegradowalność kompozytu.

#### 4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych sformułowano następujące wnioski:

- a) przędza lniana nieprzesycona żywicą charakteryzuje się prawie dwukrotnie większym wydłużeniem w porównaniu z przędzą przesasyconą,

## Przegląd badań

- b) przędza lniana przesycona żywicą może przenieść siłę rozciągającą o 30% większą w porównaniu z przędzą nieprzesyconą, co może mieć związek z większym polem przekroju poprzecznego przędz przesyconych żywicą,
- c) powtarzalność wyników testu rozciągania, zarówno przędz przesyconych i nieprzesyconych żywicą, nie jest zadowalająca, co może utrudniać stosowanie tego rodzaju wzmocnień w projektowaniu konstrukcji z kompozytów warstwowych (niepewność względna wydłużenia i siły maksymalnej w obu przypadkach jest znacznie większa od 5%, co nie jest akceptowalne w praktyce inżynierskiej),
- d) niezadowalająca powtarzalność wytrzymałości na rozciąganie przędz lnianych przesyconych i nieprzesyconych żywicą może wynikać z niedokładnej technologii wytwarzania przędz (np. przędze mogą różnić się liczbą włókien) oraz różnych warunków klimatyczno-glebowych w czasie uprawy roślin, z których pozyskuje się włókna (warunki uprawy roślin mogą mieć wpływ na właściwości mechaniczne włókien),
- e) porównując otrzymane wyniki z danymi literaturowymi (Marszałek i Stadnicki 2020) można stwierdzić, że wzmocnienie kompozytowe w postaci przędz lnianych charakteryzuje się nośnością o połowę mniejszą w porównaniu z nośnością rovingu z włókien szklanych.

Z uwagi na zwiększające się zainteresowanie kompozytami hybrydowymi, w skład których wchodzi jednocześnie włókna wytworzone sztucznie i włókna pochodzenia naturalnego, kolejnym etapem badań doświadczalnych będzie przeprowadzenie testów rozciągania i zginania kompozytu wzmocnionego tkaninami z włókien szklanych i lnianych. Tego typu struktury stanowią nowe możliwości w projektowaniu lekkich i wytrzymałych konstrukcji inżynierskich, o czym świadczą wyniki niektórych badań naukowych (Barouni i Dhakal 2019; Calabrese i in. 2018; Fiore i in. 2022; Liu i in. 2022; Zhang i in. 2013). Głównym problemem w projektowaniu kompozytów hybrydowych jest uzyskanie odpowiedniej wytrzymałości na granicy warstw, ponieważ różne właściwości mechaniczne łączonych warstw mogą być przyczyną delaminacji, czyli rozwarstwienia. Badania przedstawione w niniejszym artykule mogą stanowić wstęp do zaprojektowania kompozytu hybrydowego wzmocnionego włóknami szklanymi i przędzami lnianymi. Na podstawie takich danych jak sztywność i wytrzymałość włókien szklanych i przędzy lnianej można dobrać udziały objętościowe poszczególnych włókien w celu otrzymania kompozytu hybrydowego o wymaganych właściwościach mechanicznych, zwłaszcza kompozytu z dostateczną sztywnością i wytrzymałością na rozciąganie. Ponadto należałoby sprawdzić wytrzymałość kompozytu na zginanie, ponieważ większość konstrukcji kompozytowych jest cienkościenna a dominującym schematem ich obciążenia jest zginanie. W pierwszej kolejności można przeprowadzić analizę właściwości kompozytu hybrydowego w funkcji udziałów objętościowych włókien szklanych i lnianych za pomocą prawa mieszanin, czyli analitycznego modelu mikromechanicznego. Następnie sztywność i wytrzymałość kompozytu można sprawdzić w dokładniejszy sposób na poziomie poszczególnych warstw stosując metodę elementów skończonych.

## **5. Literatura**

- Barouni AK, Dhakal HN (2019) Damage investigation and assessment due to low-velocity impact on flax/glass hybrid composite plates. *Composite Structures* 226: 111224.
- Błędzki AK, Gorący K, Urbaniak M i in. (2019) Problematyka utylizacji wyrobów i odpadów z kompozytów polimerowych. Cz. I. Wielkość produkcji, utylizacja kompozytów z włóknami węglowymi, aspekty legislacyjne, recykling przemysłowy. *Polimery* 64(11-12): 777-787.
- Boczkowska A, Krzesiński G (2016) Kompozyty i techniki ich wytwarzania. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej Warszawa.
- Calabrese L, Fiore V, Scalici T, Valenza A (2018) Experimental assessment of the improved properties during aging of flax/glass hybrid composite laminates for marine applications. *Journal of Applied Polymer Science* 47203: 1-12.

- Fiore V, Calabrese L, Miranda R i in. (2022) Assessment of performance degradation of hybrid flax-glass fiber reinforced epoxy composites during a salt spray fog/dry aging cycle. *Composites Part B* 238: 109897.
- Jastrzębska M, Jurczak W (2011) Recykling kompozytów z jednostek morskich. *Logistyka – nauka* 5: 663-667.
- Królikowski W, Biedunkiewicz W (2012) *Polimerowe kompozyty konstrukcyjne*. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa.
- Liu Z, Wang H, Yang L, Du J (2022) Research on mechanical properties and durability of flax/glass fiber bio-hybrid FRP composites laminates. *Composite Structures* 290: 115566.
- Marszałek J, Stadnicki J (2020) Mesoscopic modelling of unidirectional polymer laminate reinforced with glass roving fabric. In: Zawiślak S, Rysiński J, editors. *Engineer of the XXI Century. Mechanisms and Machine Science* 70. Cham: Springer: 51-60.
- Zhang Y, Li Y, Ma H, Yu T (2013) Tensile and interfacial properties of unidirectional flax/glass fiber reinforced hybrid composites. *Composites Science and Technology* 88: 172-177.