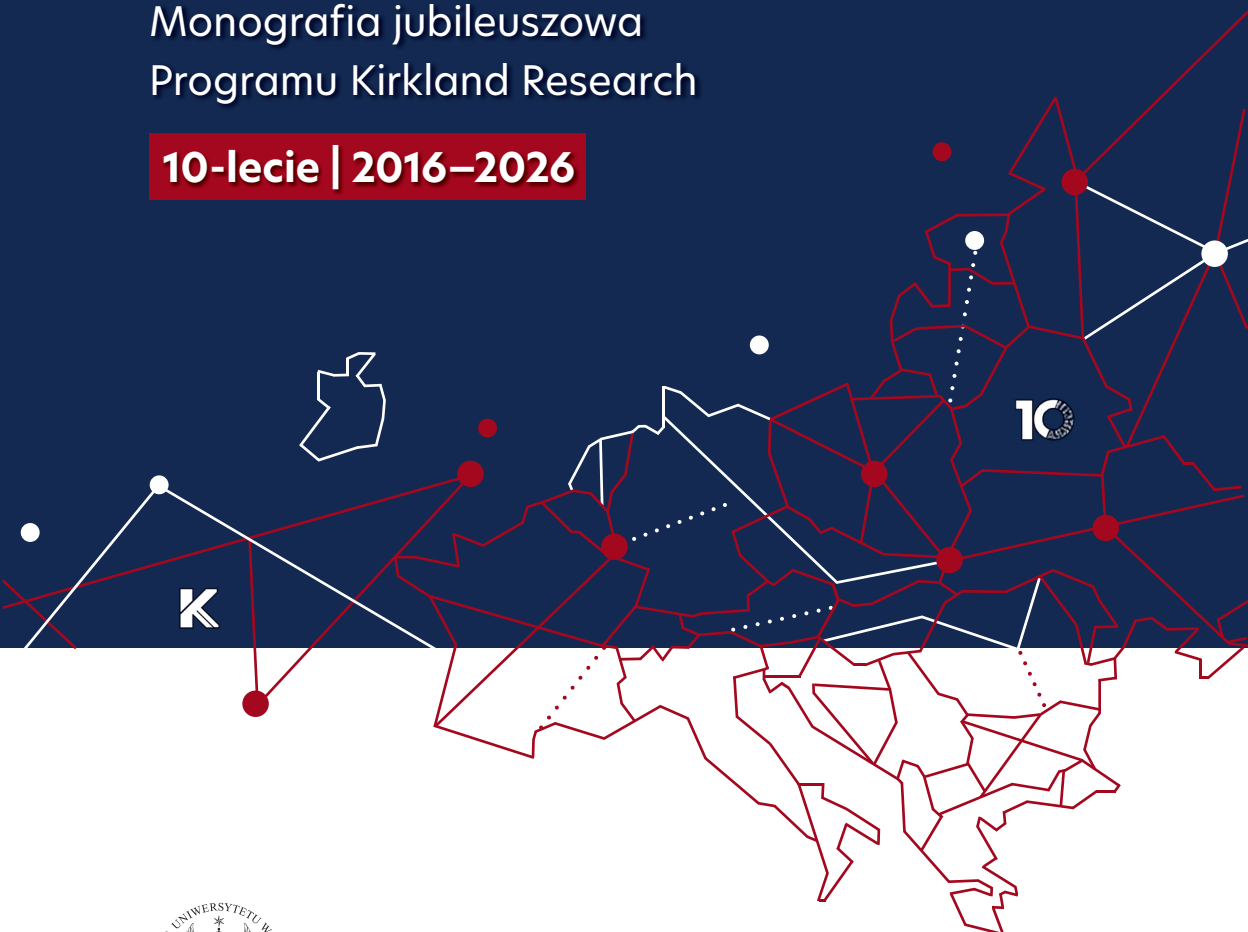


TRANSFORMACJA SPOŁECZNO-GOSPODARCZA W EUROPIE ŚRODKOWEJ I WSCHODNIEJ Strategie i wyzwania

Monografia jubileuszowa
Programu Kirkland Research

10-lecie | 2016–2026



**TRANSFORMACJA
SPOŁECZNO-GOSPODARCZA
W EUROPIE
ŚRODKOWEJ I WSCHODNIEJ**
Strategie i wyzwania

**SOCIAL AND ECONOMIC TRANSFORMATION
IN THE CENTRAL AND EASTERN EUROPE**
Strategies and Challenges

TRANSFORMACJA SPOŁECZNO-GOSPODARCZA W EUROPIE ŚRODKOWEJ I WSCHODNIEJ Strategie i wyzwania

Monografia jubileuszowa
Programu Kirkland Research
10-lecie | 2016–2026

SOCIAL AND ECONOMIC TRANSFORMATION
IN THE CENTRAL AND EASTERN EUROPE
Strategies and Challenges

Anniversary monograph
of the Kirkland Research Program
10th Anniversary | 2016–2026



Redaktor naukowy

Prof. dr hab. Yuriy Hubeni, Kierownik Katedry Przedsiębiorczości i Handlu (Lwowski Narodowy Uniwersytet Medycyny Weterynaryjnej i Biotechnologii im. S. Gżyckiego)

ORCID: 0000-0002-1842-8975

Recenzenci

Dr hab. Nadiya Dubrovina (Wyższa Szkoła Ekonomii i Zarządzania w Bratysławie, Słowacja)

Prof. dr hab. Olena Hrybiuk (Międzynarodowy Uniwersytet Nauki i Technologii, Narodowa Akademia Nauk Ukrainy)

Dr Aleksy Mołdowan (niezależny badacz, Polska)

Prof. AŚ, Tetyana Nestorenko (Akademia Śląska, Katowice, Polska; Berdiański Państwowy Uniwersytet Pedagogiczny, Zaporozie, Ukraina)

Prof. dr hab. Olena Snigova (Instytut Gospodarki i Prognoz, Narodowa Akademia Nauk Ukrainy)

Prof. SGH, dr hab. Jürgen Wandel (Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, Polska)

Redaktor prowadzący

Karolina Kozakowska

Redakcja i korekta

Elena Kucheryavaya

Projekt okładki i stron tytułowych

Anna Gogolewska

Ilustracja na okładce

Fundacja Liderzy Przemian

Skład i łamanie

Tomasz Kasperczyk

Publikacja dofinansowana przez Fundację Liderzy Przemian ze środków Polsko-Amerykańskiej Fundacji Wolności

Publikacja na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 PL (CC BY 4.0 PL)

(pełna treść wzorca dostępna pod adresem: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.pl>)

ISBN 978-83-235-7199-5 (druk)

ISBN 978-83-235-7201-5 (pdf online)

ISBN 978-83-235-7200-8 (e-pub)

Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego

02-678 Warszawa, ul. Smyczkowa 5/7

e-mail: wuw@uw.edu.pl

księgarnia internetowa: www.wuw.pl

Wydanie 1, Warszawa 2026

Druk i oprawa: POZKAL

Scientific Editor

Prof. dr hab. Yuriy Hubeni, Head of the Department of Business & Trade (Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies, Lviv)
ORCID: 0000-0002-1842-8975

Reviewers

Dr hab. Nadiya Dubrovina (Bratislava University of Economics and Management, Slovakia)

Prof. dr hab. Olena Hrybiuk (International Science and Technology University, National Academy of Sciences of Ukraine)

Dr Aleksy Moldovan (independent researcher, Poland)

Prof. AS Tetyana Nestorenko (Academy of Silesia, Katowice, Poland; Berdyansk State Pedagogical University, Zaporizhia, Ukraine)

Prof. dr hab. Olena Snigova (Institute for Economics and Forecasting, National Academy of Sciences of Ukraine)

Prof. SGH, dr hab. Jürgen Wandel (SGH Warsaw School of Economics, Poland)

Project Coordinator

Karolina Kozakowska

Editing and proofreading

Elena Kucheryavaya

Cover Design

Anna Gogolewska

Cover Illustration

Leaders of Change Foundation

Layout and Typesetting

Tomasz Kasperczyk

Publication is financed by the Leaders of Change Foundation from the funds of the Polish-American Freedom Foundation

Publication under the Creative Commons Attribution 4.0 PL (CC BY 4.0 PL) license
(full text available at: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.pl>)

ISBN 978-83-235-7199-5 (print)

ISBN 978-83-235-7201-5 (pdf online)

ISBN 978-83-235-7200-8 (e-pub)

University of Warsaw Press

PL 02-678 Warsaw, 5/7 Smyczkowa St.

e-mail: wuw@uw.edu.pl

www.wuw.pl

1st Edition, Warsaw 2026

Print and binding: POZKAL

Spis treści

Przedmowa	11
-----------------	----

Część 1

Cyfryzacja: Biznes i kapitał ludzki

<i>Ina Chepik, Internacjonalizacja profesjonalnych usług biznesowych: analiza procesu i jego główne cechy</i>	15
<i>Natia Surmanidze, Kalina Grzesiuk, Handel elektroniczny w Gruzji na tle Polski: zachowania konsumentów i gotowość cyfrowa przedsiębiorstw</i>	31
<i>Viktor Trynchuk, Oksana Polinkevych, Inna Khovrak, Transformacja edukacji cyfrowej a rozwój kapitału ludzkiego na rynku pracy</i>	49

Część 2

Instytucje: Prawo i dziedzictwo

<i>Olha Zolotar, Regulacje prawne dotyczące działalności w zakresie świadczenia usług psychoterapeutycznych w Ukrainie</i>	79
<i>Svitlana Muravska, Promocja uczelni poprzez zasoby dziedzictwa uniwersyteckiego: doświadczenia Uniwersytetu Narodowego Politechnika Lwowska</i> .	95
<i>Oksana Hysa, Pro-Jagielloński składnik wyrazistości dzieł Mykoły Leontowycza i Borysa Latoszyńskiego</i>	109

Część 3

Integracja: Transport, turystyka i łańcuchy wartości

<i>Andrei Bezruchonak, Oleksandr Fedorchuk, Obecna struktura przestrzen na sieci, ruch pasażerski oraz wpływ społeczno-ekonomiczny tanich linii lotniczych w Poznaniu</i>	123
<i>Mariia Kulyk, Margaryta Boiko, Mariia Dehtiarenko, Organizacyjny mechanizm implementacji zarządzania przychodami</i>	145

Oleksandr Patlatoi , <i>Bilateralne łańcuchy wartości jako mechanizm integracji gospodarczej: przypadek Polski i Ukrainy</i>	163
---	-----

Część 4

Rolnictwo: Odbudowa i strategię

Yuliia Zolotnytska , <i>Strategie rozwoju rolnictwa rodzinnego w regionach Ukrainy: podejście klastrowe</i>	187
--	-----

Diana Shelenko, Olena Borodina, Ivan Balaniuk , <i>Powojenna odbudowa lokalnych systemów rolno-spożywczych w kontekście adaptacji do nowej rzeczywistości oraz integracji europejskiej</i>	207
---	-----

Część 5

Przyszłość: Zarządzanie i innowacje

Inna Khovrak , <i>Konceptualizacja ekosystemów dowodowych dla odpowiedzialnego zarządzania w państwach dotkniętych kryzysem i podlegających transformacji</i>	229
--	-----

Roman Veselivskyy, Roman Yakovchuk, Dmytro Smolyak, Ihor Polishchuk , <i>Metodologia i rezultaty badania obliczeniowego zdolności ognioochronnej powłoki intumescentnej na bazie polisiloksanu dla konstrukcji stalowych</i> ..	247
--	-----

Informacje o Autorach	263
-----------------------------	-----

About the Authors	273
-------------------------	-----

Contents

Preface	11
---------------	----

Part 1

Digitisation: Business and human capital

<i>Ina Chepik, Internationalisation of Professional Business Services: process analysis and main features</i>	15
<i>Natia Surmanidze, Kalina Grzesiuk, E-commerce in Georgia compared to Poland: consumer behaviour and digital readiness of enterprises</i>	31
<i>Viktor Trynchuk, Oksana Polinkevych, Inna Khovrak, Transformation of online education and the development of human capital in the labour market ...</i>	49

Part 2

Institutions: Law and heritage

<i>Olha Zolotar, Legal regulations on psychotherapy services in Ukraine</i>	79
<i>Svitlana Muravska, Promotion of a higher education institution through university's heritage resources: the case of Lviv Polytechnic National University ...</i>	95
<i>Oksana Hysa, The Jagiellonian component of expression in the works of Mykola Leontovych and Borys Lyatoshytsky</i>	109

Part 3

Integration: Transport, tourism, and value chains

<i>Andrei Bezruchonak, Oleksandr Fedorchuk, Current network development, passenger traffic, and socio-economic impact of low-cost carriers in Poznan</i>	123
<i>Mariia Kulyk, Margaryta Boiko, Mariia Dehtiarenko, The organisational mechanism of revenue management implementation</i>	145

<i>Oleksandr Patlatoi</i> , <i>Bilateral value chains as a mechanism of economic integration: the case of Poland and Ukraine</i>	163
---	-----

Part 4

Agriculture: Recovery and strategies

<i>Yuliia Zolotnytska</i> , <i>Strategies for the development of family farming in the regions of Ukraine: a cluster-based approach</i>	187
--	-----

<i>Diana Shelenko, Olena Borodina, Ivan Balaniuk</i> , <i>Post-war reconstruction of local agri-food systems in the context of adaptation to the new reality and European integration</i>	207
--	-----

Part 5

Future: Governance and innovations

<i>Inna Khovrak</i> , <i>Conceptualising evidence ecosystems for responsible governance in crisis-affected and transforming states</i>	229
---	-----

<i>Roman Veselivskyy, Roman Yakovchuk, Dmytro Smolyak, Ihor Polishchuk</i> , <i>Methodology and results of calculation study of fire protection capacity of intumescent coating based on polysiloxane for steel structures</i>	247
---	-----

Informacje o Autorach	263
---------------------------------	-----

About the Authors	273
-----------------------------	-----

Przedmowa

Niniejsza monografia stanowi naukowe studium procesów modernizacyjnych zachodzących we współczesnej Europie Środkowo-Wschodniej oraz strategii służących ich realizacji. Krajobraz społeczno-gospodarczy państw, które po 1989 roku odzyskały suwerenność, nie jest monolitem. Strategie adaptacyjne przyjęte w Gruzji, Białorusi czy Ukrainie wykazują głębokie zróżnicowanie, będące odzwierciedleniem radykalnych przeobrażeń geopolitycznych minionej dekady. Publikacja stawia sobie za cel analizę tych dywergencji, wskazując na kluczowe determinanty sukcesów oraz porażek procesów transformacyjnych w tej części świata.

Z wielowymiarowości analizowanych zjawisk wynikało interdyscyplinarne podejście, łączące ekonomię, socjologię, prawo, nauki o polityce i administracji, agronomię oraz inżynierię. Dzięki zastosowaniu zróżnicowanego instrumentarium badawczego – od analiz VOSviewer po modele *k-means* i wykorzystanie baz danych WITS i TiVA – autorzy wychwytują emergentne trendy transformacji, których nie ujawniłoby podejście monodyscyplinarne. Monografia została podzielona na pięć bloków tematycznych: od cyfryzacji i kapitału ludzkiego, przez analizę instytucji i dziedzictwa, po kwestie integracji transportowej, rolnictwa i nowoczesnego zarządzania. Perspektywa teoretyczna spotyka się tutaj z bogatym materiałem empirycznym z Gruzji, Ukrainy czy Białorusi, zestawionym z polskim doświadczeniem transformacyjnym.

Prezentowane teksty są owocem pracy absolwentów Programu Kirkland Research, stanowiącego naukową ścieżkę w ramach Programu Stypendialnego im. Lane’a Kirklanda. Zainicjowany w 2016 roku komponent Kirkland Research oferuje krótkoterminowe staże badawcze w Polsce dla osób o ugruntowanej pozycji naukowej – wybitnych profesorów i doktorów. W trakcie semestralnego pobytu w Polsce stypendyści realizują indywidualne projekty badawcze pod kierunkiem tutorów, czego finalnym efektem jest autorska publikacja naukowa. Do dziś ścieżkę tę ukończyło 58 badaczy, tworząc unikatową sieć wymiany wiedzy w regionie.

Szerszym kontekstem dla tych działań jest Program Stypendialny im. Lane’a Kirklanda, który od blisko 26 lat wspiera liderów z Europy Wschodniej, Południowego Kaukazu i Azji Centralnej. Jego misją jest dzielenie się polskimi doświadczeniami w zakresie transformacji ustrojowej i integracji z Unią Europejską. W gronie ponad 1000 absolwentów znajdują się dziś członkowie rządów, parlamentarzyści, menedżerowie korporacji oraz wpływowi działacze społeczni. Sukces ten jest możliwy dzięki współpracy z renomowanymi polskimi uczelniami, takimi jak Uniwersytet Warszawski, SGH, Uniwersytet Jagielloński, AGH, UMCS, UAM czy Uniwersytet Wrocławski. Współpraca ta buduje trwałe partnerstwa międzyinstytucjonalne i pozwala na szerokie spojrzenie na problemy regionu.

Z dumą oddajemy w Państwa ręce niniejszą monografię – świadectwo naukowego potencjału naszych stypendystów oraz dorobku Programu Kirkland Research. Publikacja ta, przygotowana dzięki fundatorowi Programu, Polsko-Amerykańskiej Fundacji Wolności oraz jego realizatorowi Fundacji Liderzy Przemian, ma ambicję stać się katalizatorem dyskusji nad zrównoważonym rozwojem i odpornością państw regionu.

Dziękujemy również zespołowi redakcji czasopisma naukowego „Przegląd Europejski - European Studies Quarterly” wydawanego przez Uniwersytet Warszawski za inspiracje i wsparcie merytoryczne w trakcie przygotowania tej monografii.

*prof. dr hab. Yuriy Hubeni,
redaktor naukowy*

*oraz zespół Fundacji Liderzy Przemian,
Warszawa*

Roman Veselivskyy, Lviv State University of Life Safety (Lviv, Ukraine)
Lwowski Państwowy Uniwersytet Bezpieczeństwa Życia (Lwów, Ukraina)
E-mail: roman_veselivskuy@yahoo.com
Scopus Author ID: 57509406900
<https://orcid.org/0000-0003-3266-578X>

Roman Yakovchuk, Lviv State University of Life Safety (Lviv, Ukraine)
Lwowski Państwowy Uniwersytet Bezpieczeństwa Życia (Lwów, Ukraina)
E-mail: yakovchukrs@ukr.net
Scopus Author ID: 57205222046
<https://orcid.org/0000-0001-5523-5569>

Dmytro Smolyak, Lviv State University of Life Safety (Lviv, Ukraine)
Lwowski Państwowy Uniwersytet Bezpieczeństwa Życia (Lwów, Ukraina)
E-mail: Smolyak.Dmitro@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-5458-326X>

Ihor Polishchuk, Lviv State University of Life Safety (Lviv, Ukraine)
Lwowski Państwowy Uniwersytet Bezpieczeństwa Życia (Lwów, Ukraina)
E-mail: igorpolishchuk101@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-5221-8885>

Metodologia i rezultaty badania obliczeniowego zdolności ognioochronnej powłoki intumescentnej na bazie polisiloksanu dla konstrukcji stalowych¹

Abstrakt: W badaniu dokonano kompleksowej analizy skuteczności ogniochronnej powłoki intumescentnej na bazie polisiloksanu dla stalowych konstrukcji budowlanych. Główna uwaga poświęcona jest opracowaniu i weryfikacji metodologii obliczeniowej określania granic odporności ogniowej konstrukcji stalowych z nałożoną powłoką w warunkach standardowego reżimu temperaturowego pożaru. Zastosowano metodę rozwiązywania odwrotnego zadania przewodności cieplnej w celu identyfikacji zależnego od temperatury współczynnika efektywnej przewodności cieplnej spienionej warstwy powłoki. Na podstawie serii badań próbek badawczych o różnym współczynniku przekroju i grubości powłoki uzyskano zbiór danych, który

¹ Copyright © by Roman Veselivskyy, Roman Yakovchuk, Dmytro Smolyak, Ihor Polishchuk, 2026. DOI: <https://doi.org/10.31338/uw.9788323572015.pp.247-262>
Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

pozwoili na stworzenie modelu regresji czasu osiagnicia krytycznej temperatury konstrukcji stalowej. Wyniki badan zostaly przekształcone w praktyczne nomogramy inzynierskie do projektowania zabezpieczeń przeciwpożarowych konstrukcji stalowych o klasach odporności ogniowej R15–R90.

Słowa kluczowe: efektywność ognioochronna, powłoka intumescentna, współczynnik przewodności cieplnej, klasa odporności ogniowej, zależność regresyjna

Methodology and results of calculation study of fire protection capacity of intumescent coating based on polysiloxane for steel structures

Abstract: The authors conducted in this study a comprehensive analysis of the effectiveness of a polysiloxane-based intumescent fire-retardant coating for steel building structures. The main focus is on the development and verification of a calculation method for determining the fire resistance limits of steel structures with applied coatings under standard fire temperature conditions. The inverse heat conduction problem solution method was used to identify the temperature-dependent effective thermal conductivity coefficient of the expanded coating layer. Based on a series of fire tests of samples with different cross-sectional coefficients and coating thicknesses, a data array was obtained, which made it possible to create a regression model of the time to reach the critical temperature of a steel structure. The research results were transformed into practical engineering nomograms for the design of fire protection for steel structures of fire resistance classes R15–R90.

Keywords: fire protection efficiency, intumescent coating, thermal conductivity coefficient, fire resistance class, regression dependence

1. Wprowadzenie

Zapewnienie bezpieczeństwa przeciwpożarowego budynków i konstrukcji jest jednym z priorytetowych zadań współczesnej inżynierii budowlanej, co jest szczególnie istotne w przypadku stalowych konstrukcji budowlanych w zakresie wymagań dotyczących ich odporności ogniowej. Konstrukcje stalowe, charakteryzujące się wysokimi właściwościami mechanicznymi w normalnych warunkach eksploatacji, są podatne na działanie wysokich temperatur w przypadku pożaru, kiedy temperatura środowiska gazowego może osiągnąć ponad 1000°C w krótkim czasie. Przyczynia się do szybkiego nagrzania stalowych konstrukcji budowlanych i utraty ich właściwości fizycznych. Jedną z kluczowych cech fizycznych przy ocenie odporności ogniowej stalowych konstrukcji budowlanych jest temperatura krytyczna, przy której można oczekiwać zniszczenia konstrukcji stalowej przy równomiernym rozkładzie temperatury dla zadanego poziomu obciążenia (DSTU-N B EN 1991-1-2:2010). Po osiągnięciu temperatury krytycznej

(zwykle mieści się ona w zakresie 400-600°C, w zależności od stopnia obciążenia) granica plastyczności i moduł sprężystości stali spadają do poziomu powodującego utratę nośności konstrukcji, a w konsekwencji zniszczenie konstrukcji i zawalenie budynków.

Typowe metody pasywnej ochrony przeciwpożarowej to betonowanie, okładanie cegłą i użycie materiałów płytowych. (Veselivskyy, Smolak 2021; Gravit et al. 2025). Jednak obecnie wiele uwagi poświęca się cienkowarstwowym powłokom reaktywnym/farbom intumescentnym (Mehta et al. 2024; Zielecka et al. 2020; Lucherini, Silva 2024). Ich popularność wynika z możliwości zachowania architektonicznej wyrazistości konstrukcji stalowych, niskiej masy i technologiczności nakładania. Zasada działania takich powłok opiera się na złożonym kompleksie przemian fizykochemicznych. Tak więc, podczas ogrzewania cienka warstwa farby intumescentnej (zwykle 0,2–2,0 mm) wielokrotnie zwiększa swoją objętość, tworząc porowatą warstwę węglową (pianę koksową), która ma niską przewodność cieplną i stanowi barierę dla ogrzewania (Wang et al. 2020).

Współczesny rozwój chemii polimerów otwiera nowe możliwości udoskonalenia materiałów ogniochronnych. Szczególnym zainteresowaniem cieszą się kompozycje na bazie polisiloksanów. W odróżnieniu od tradycyjnych spoiw organicznych (akrylowych, epoksydowych), polisiloksany mają nieorganiczny związek Si–O–Si, który zapewnia im wyższą odporność termiczną, odporność na promieniowanie ultrafioletowe i czynniki atmosferyczne (Zalewski et al. 2021; Černý et al. 2024).

Powłoki na bazie polisiloksanu są szeroko stosowane do ochrony betonu, żelbetonu, stopów aluminium, stali niklowej (Parkhomenko, Hyvliud 2017; Hyvliud et al. 2012; Yakovchuk et al. 2013; Hyvliud et al. 2009; Hyvliud et al. 2008; Hyvliud et al. 2007), a głównymi składnikami dodawanymi do kompozycji powłok ogniochronnych są tlenki magnezu, tytanu, chromu, dwutlenek cyrkonu, tlenek manganu, kaolin, glinu, włókno mineralne, popiół w różnych proporcjach masowych.

W przeprowadzonych badaniach (Hyvliud et al. 2012; Veselivskyy, Smolak 2022; Veselivskyy et al. 2024a) uzasadniono proporcje składników ogniochronnej powłoki intumescentnej do konstrukcji stalowych, która zawiera polisiloksan i tlenek aluminium, dodatkowo – tlenki tytanu i chromu, a jako polisiloksan – zawiera lakier polimetylfenylosiloksanowy. Dodanie do polisiloksanu specjalnych wypełniaczy, takich jak tlenki aluminium, tytanu i chromu, pozwoliło zmodyfikować strukturę pianki, zwiększając jej wytrzymałość mechaniczną („ceramizacja” warstwy powierzchniowej) i właściwości termoizolacyjne.

Jednakże, aby skutecznie zastosować opracowaną wysokotemperaturową powłokę ogniochronną, należy wziąć pod uwagę, że przy projektowaniu ochrony przeciwpożarowej decydujące znaczenie ma minimalna grubość powłoki

niezbędna do zapewnienia normowanej klasy odporności ogniowej (R15-R90). Określenie tej grubości jest utrudnione ze względu na nieliniowy charakter właściwości termofizycznych powłoki intumescentnej w procesie jej spęszczania. Ponieważ przewodność cieplna warstwy intumescentnej nie jest stałą wielkością, a funkcją temperatury, czasu i warunków rozszerzania, do prawidłowego obliczenia należy stosować metody modelowania matematycznego oparte na danych eksperymentalnych z badań takich powłok.

Celem badania jest określenie zależności między zmianami współczynnika przewodności cieplnej a czasem osiągnięcia temperatury krytycznej w konstrukcjach stalowych, zabezpieczonych przed ogniem, w zależności od grubości powłoki ogniochronnej na bazie polisiloksanu i temperatury nagrzewania stalowego elementu konstrukcji o różnym przekroju.

W tekście omówiono metodologię i wyniki badań obliczeniowych dotyczących odporności ogniowej powłoki na bazie polisiloksanu, a **główna hipoteza badania** polega na tym, że zastosowanie algorytmu rozwiązywania odwrotnego zadania przewodności cieplnej (Atchonouglo et al. 2008; Kovaliov, Zobenko 2016) pozwala uzyskać dokładne wartości efektywnej przewodności cieplnej powłoki, które mogą być wykorzystane do prognozowania zachowania chronionych konstrukcji w szerokim zakresie parametrów konstrukcyjnych.

2. Metodologia badawcza

2.1. Ogólne sformułowanie zadania

Badanie opierało się na połączeniu eksperymentalnych testów konstrukcji stalowych pokrytych powłoką ogniochronną oraz modelowania obliczeniowego. Podejście metodologiczne zastosowane w pracy jest zgodne z wymaganiami norm (DSTU-N B EN 1991-1-2:2010; DSTU EN 13381-8:2022) i obejmuje następujące etapy:

1. Przeprowadzenie serii badań eksperymentalnych próbek stalowych pokrytych powłoką ogniochronną w warunkach standardowego reżimu temperaturowego pożaru;

2. Określenie właściwości termofizycznych powłoki (w szczególności efektywnej przewodności cieplnej) poprzez rozwiązanie odwrotnego zadania przewodności cieplnej na podstawie uzyskanych danych eksperymentalnych;

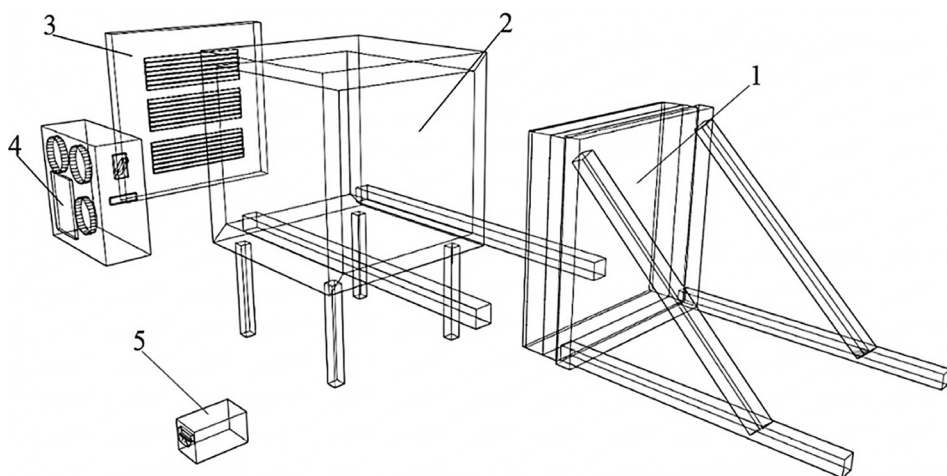
3. Weryfikacja uzyskanych właściwości poprzez porównanie obliczonych temperatur nagrzewania elementów stalowych z eksperymentalnymi (kryteria adekwatności);

4. Obliczenie wymaganej grubości powłoki w celu zapewnienia określonych klas odporności ogniowej dla profili stalowych o różnym przekroju.

2.2. Badania eksperymentalne

W celu uzyskania danych pierwotnych wykorzystano innowacyjną instalację (Veselivskiy et al. 2024a), której zasada działania polega na ogrzewaniu wnętrza pieca za pomocą elektrycznych elementów grzewczych pod kontrolą automatycznego bloku sterującego. Reżim ogrzewania próbek badawczych odpowiadał standardowej krzywej pożaru opisanej zależnością $\Theta_g(t) = 20 + 345 \lg(8t + 1)$, gdzie t – czas w minutach, Θ_g – temperatura środowiska gazowego (°C). Schemat konstrukcyjny instalacji przedstawiono na Rysunku 1.

Rysunek 1. Schemat konstrukcyjny instalacji do oceny odporności ogniowej (skuteczności) powłok ogniochronnych



Oznaczenia: 1 – próbka badawcza z systemem montowania, 2 – komora instalacji, 3 – elektryczna płyta grzewcza, 4 – blok sterowania temperaturą, 5 – urządzenie do kontroli temperatury na próbce badawczej.

Źródło: własne opracowanie autorów.

Próbki do badań stanowiły stalowe płyty o rozmiarze boku 500×500 mm z nałożoną powłoką ogniochronną. W celu zbadania wpływu przekroju na szybkość nagrzewania przygotowano trzy serie próbek o różnej grubości stalowej płyty: 3 mm, 5 mm i 8 mm, co pozwoliło uzyskać różne wartości współczynnika przekroju A_m/V (m^{-1}). Na powierzchnię roboczą stalowych płyt (od strony ogrzewającej) nakładano badaną powłokę ogniochronną na bazie polisiloksanu o grubościach 0,3 mm, 0,45 mm, 0,6 mm i 0,8 mm. W sumie przygotowano 11 typów próbek (po dwa duplikaty każdego typu w celu zapewnienia wiarygodności statystycznej). Parametry każdej z próbek do badań, które są również danymi wyjściowymi do obliczenia współczynnika przewodności cieplnej, przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1: Parametry techniczne próbek badawczych

Parametr	Próbki badawcze										
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10	№11
Długość boku, mm	500										
Grubość płyty stalowej, mm	3				5			8			
Współczynnik przekroju, $A_m/V, m^{-1}$	333,333				200			125			
Grubość powłoki, d, mm	0,3	0,45	0,6	0,8	0,3	0,45	0,6	0,3	0,45	0,6	0,8

Źródło: własne opracowanie autorów.

Nieogrzewana strona próbek została izolowana termicznie warstwą płyty perlitowej (40 mm) i wełny mineralnej (50 mm) w celu zminimalizowania strat ciepła i zapewnienia równomiernego przepływu ciepła, co jest ważne dla poprawności dalszych obliczeń. Temperatura stalowej płyty była mierzona za pomocą pięciu termopar typu chromel-alumel, zainstalowanych na nieogrzewanej powierzchni stalowej płyty.

2.3. Model przepływu ciepła

W celu wyznaczenia temperatury nagrzewania konstrukcji stalowych zabezpieczonych przed ogniem zgodnie z normą (DSTU EN 13501-2:2023) zastosowano podstawową metodę opartą na wykorzystaniu wzoru określającego wzrost temperatury $\Delta\theta_{a,t}$ w przedziale czasu Δt :

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_P A_P}{V d_P c_a \rho_a} \cdot \frac{(\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{(1 + \varphi/3)} \cdot \Delta t - \left(e^{\varphi/10} - 1\right) \cdot \Delta\theta_{g,t} \quad (\Delta\theta_{a,t} \geq 0, \quad \Delta\theta_{g,t} > 0), \quad (1)$$

$$\text{gdzie } \varphi = \frac{c_P \rho_P}{c_a \rho_a} \cdot d_P A_P / V,$$

gdzie: A_P/V – współczynnik przekroju dla stalowych konstrukcji izolowanych materiałem ogniochronnym;

A_p – odpowiednia powierzchnia materiału ogniochronnego na jednostkę długości konstrukcji (m^2/m);

V – objętość jednostki długości konstrukcji (m^3/m);

c_a – pojemność cieplna stali w zależności od temperatury ($\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$);

c_p – pojemność cieplna materiału ogniochronnego, niezależna od temperatury ($\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$);

d_p – grubość materiału ogniochronnego (m);

Δt – czas nie powinien przekraczać 30 sekund (s);

$\theta_{a,t}$ – temperatura stali w momencie czasu t ($^{\circ}\text{C}$);

$\theta_{g,t}$ – temperatura otaczającego gazu w danym momencie czasu t ($^{\circ}\text{C}$);

$\Delta\theta_{g,t}$ – wzrost temperatury otaczającego gazu w danym okresie czasu Δt (K);

λ_p – współczynnik przewodności cieplnej systemu ochrony ogniochronnej ($\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$);

ρ_a – gęstość stali (kg/m^3); ρ_p – gęstość materiału ogniochronnego (kg/m^3).

W celu określenia współczynnika przewodności cieplnej powłoki ogniochronnej konstrukcji stalowych stosuje się następującą formułę:

$$\lambda_{p,t} = \left[d_p \frac{V}{A_p} c_{a,t} \rho_a (1 + \phi/3) \frac{1}{(\theta_{g,t} - \theta_{a,t}) \Delta t} \right] \left[\theta_{a,t} + (e^{\phi/10} - 1) \Delta\theta_{g,t} \right] \quad (2)$$

W przypadku zastosowania tej metody pojemność cieplna jest uważana za stałą i stanowi $c_p = 1000 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$. Gęstość powłoki ogniochronnej jest również uważana za stałą wielkość.

Zależność liczbowa współczynnika przewodności cieplnej od czasu dla każdej konstrukcji stalowej przekształca się w zależność od temperatury i uśrednia się co 50°C dla wszystkich badanych próbek. Do określenia współczynnika przewodności cieplnej stosuje się interpolację liniową.

Następnie sprawdzane są kryteria adekwatności (przydatności) zgodnie z rekomendacjami (DSTU EN 13381-8:2022; DSTU B V.1.1-17:2007):

- czas osiągnięcia temperatury dla każdej temperatury projektowej nie może przekraczać faktycznego czasu uzyskanego podczas badania o więcej niż 30%;
- średnia wartość odchylenia obliczonego i eksperymentalnego czasu osiągnięcia temperatury projektowej musi być mniejsza od zera;
- maksymalnie 20% poszczególnych rozbieżności może być większych od zera.

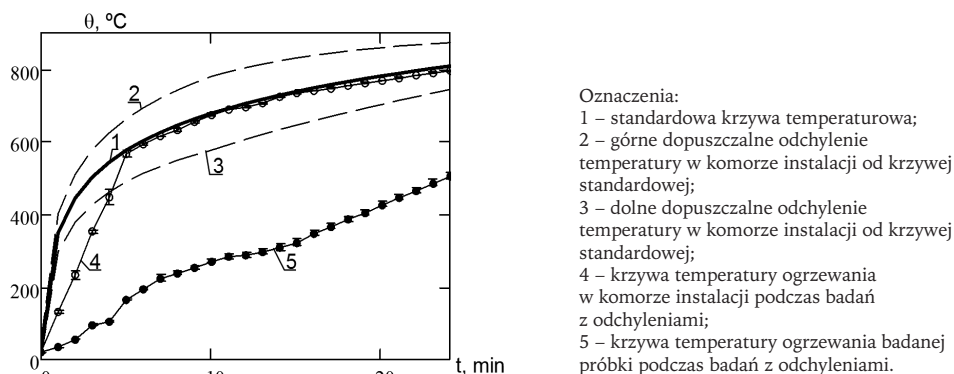
Właściwości termofizyczne stali (przewodność cieplna i pojemność cieplna) przyjęto jako funkcje zależne od temperatury zgodnie z Eurokodem 3 (DSTU-N B EN 1991-1-2:2010).

3. Wyniki badania

3.1. Dynamika nagrzewania próbek badawczych

Po przeprowadzeniu eksperymentów uzyskano krzywe temperaturowe nagrzewania stalowych płyt z powłoką ogniochronną. Na *Rysunku 2* przedstawiono krzywe temperaturowe uzyskane dla próbki №1 zgodnie z *Tabelą 1*.

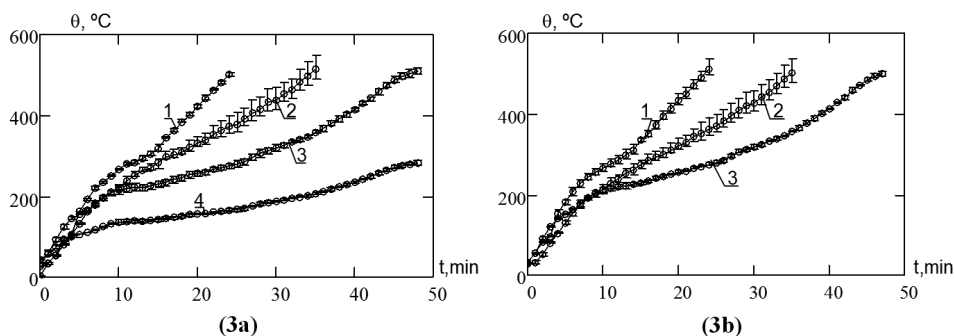
Rysunek 2: Krzywe temperaturowe ogrzewania próbki №1 uzyskane podczas badań

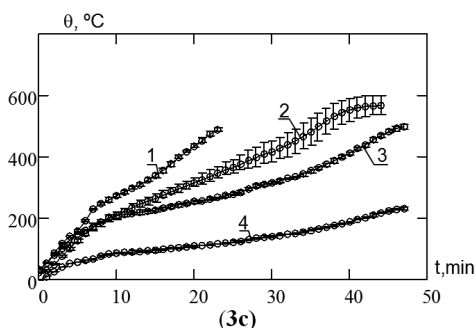


Źródło: własne opracowanie autorów.

Wykresy na *Rysunku 2* pokazują dobrą powtarzalność reżimu temperaturowego badań, ponieważ w granicach ponad 10 minut wskaźniki temperaturowe mieszczą się w dolnym i górnym limicie odchylenia od standardowego reżimu temperaturowego pożaru. Analogiczne wykresy zostały sporządzone dla wszystkich badanych próbek (*Tabela 1*), wyniki badań przedstawiono na *Rysunku 3*.

Rysunek 3: Krzywe temperaturowe z odchyleniami nagrzewania próbek ze stalową płytką 3 mm (3a), 5 mm (3b) i 8 mm (3c), uzyskane podczas badań dla powłok o różnej grubości: 1 – 0,3 mm; 2 – 0,45 mm; 3 – 0,6 mm; 4 – 0,8 mm





Źródło: własne opracowanie autorów.

Analiza uzyskanych krzywych temperaturowych pokazuje wyraźną zależność szybkości nagrzewania stali od grubości nałożonej powłoki. Na przykład, dla próbek o grubości płyty 3 mm ($A_m/V = 333,3 \text{ m}^{-1}$) zwiększenie grubości powłoki z 0,3 mm do 0,8 mm powoduje znaczny spadek temperatury stali w określonych momentach czasu. Charakter uzyskanych krzywych wskazuje na obecność kilku etapów działania powłoki:

- 1 faza (do 150–200°C): powłoka działa jak zwykła izolacja, temperatura rośnie powoli;
- 2 faza (200–350°C): obserwuje się spowolnienie wzrostu temperatury, co jest związane z endotermicznymi reakcjami rozkładu składników powłoki i początkiem tworzenia się piany;
- 3 faza (powyżej 350°C): utworzona warstwa piany koksowej działa jak skuteczna bariera termiczna.

Odchylenia temperatury w instalacji od standardowej krzywej nie przekraczały 4–6%, co świadczy o wysokiej dokładności eksperymentu i zgodności z wymaganiami norm.

3.2. Efektywna przewodność cieplna powłoki ognioochronnej

Do obliczenia współczynnika przewodności cieplnej według wzoru (2) wykorzystano dane z badań eksperymentalnych próbek z powłoką ognioochronną zgodnie z opracowaną metodyką opisaną powyżej. Na podstawie danych przedstawionych w Tabeli 1 określono zależności współczynnika przewodności cieplnej od czasu, które następnie przeliczono w zależności od temperatury.

Przy obliczaniu współczynnika przewodności cieplnej λ_p stwierdzono jego silną nieliniową zależność od temperatury i początkowej grubości warstwy, przy czym uzyskano następujące wyniki:

- w temperaturach (20–150°C) wartości λ_p są stosunkowo wysokie (0,01–0,05 W/(m·K)), co odpowiada przewodności cieplnej szczelnego polimeru y;
- w zakresie 200–350°C następuje znaczne zmniejszenie λ_p (do wartości

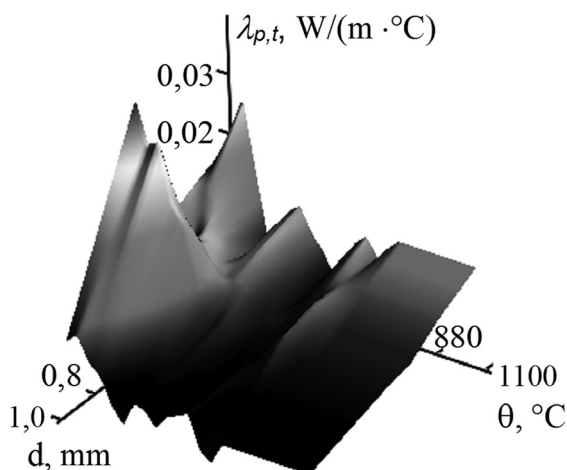
0,002-0,005 W/(m·K)). Jest to bezpośrednia konsekwencja procesu spęcznienia: grubość warstwy zwiększa się dziesiątki razy, ale w modelu obliczeniowym stosowana jest grubość początkowa d_p , więc matematycznie wygląda to jak zmniejszenie przewodności cieplnej;

- w temperaturach $>600^{\circ}\text{C}$ przewodność cieplna stabilizuje się na niskim poziomie, jednak może nieznacznie wzrosnąć z powodu rozkładu piany i zwiększenia promieniowania cieplnego w porach.

Badania wykazały, że w przypadku cieńszych powłok (0,3 mm) średnia efektywna przewodność cieplna jest nieco wyższa niż w przypadku grubszych (0,8 mm), zwłaszcza w zakresie wysokich temperatur. Można to wyjaśnić mniejszą odpornością mechaniczną cienkiej warstwy spienionej powłoki.

Stosując interpolację liniową, na podstawie uśrednienia danych dotyczących grubości, zbudowano powierzchnię wartości współczynnika przewodności cieplnej powłoki (Rysunek 4), która pozwala prognozować przewodność cieplną powłoki dla dowolnej kombinacji temperatury i grubości w badanym zakresie.

Rysunek 4: Zależności współczynnika przewodności cieplnej od grubości powłoki ogniochronnej i temperatury nagrzewania stalowego elementu konstrukcji



Źródło: własne opracowanie autorów.

Zgodnie ze standardami (DSTU EN 13381-8:2022; DSTU B V.1.1-17:2007) wyniki modelowania muszą spełniać kryteria przyjęcia. Porównanie obliczeniowego i eksperymentalnego czasu osiągnięcia normatywnych temperatur wykazało, że bezpośrednie wykorzystanie uzyskanych λ_p może powodować błędy. Aby spełnić kryteria, wprowadzono współczynnik bezpieczeństwa $K=1,05$, przez który mnożona jest temperatura obliczeniowa. W takich warunkach kryteria adekwatności (przyjęcia) są zbieżne.

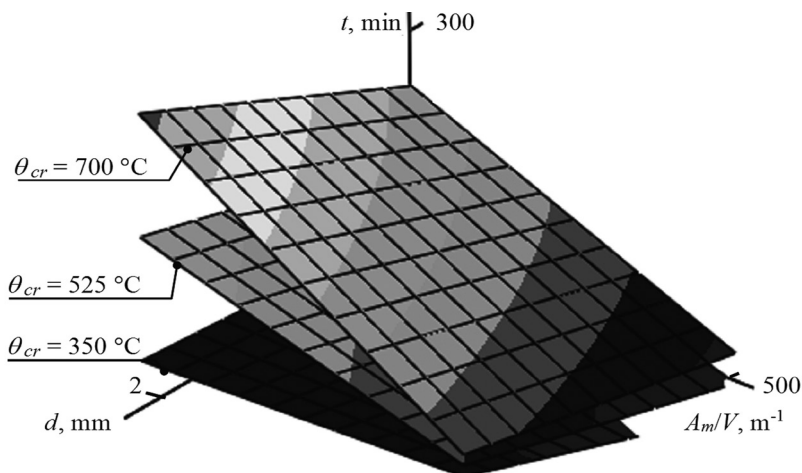
3.3. Obliczanie grubości powłoki ogniochronnej dla konstrukcji stalowych o parametrach projektowych badanego zakresu

W celu praktycznego zastosowania wyników przeprowadzono pełny eksperyment faktorowy i uzyskano zależność regresyjną, łączącą czas osiągnięcia temperatury krytycznej (t) z trzema czynnikami: grubością powłoki ogniochronnej (d_p), temperaturą krytyczną (θ_{cr}) oraz współczynnikiem przekroju (A_m/V). Otrzymana zależność regresyjna ma postać polinomu i jest wyrażona następującym równaniem:

$$t = -137,706 + 52,25 \cdot d_p + 0,417 \cdot d_p / (A_m / V) - 0,553 \cdot \theta_{cr} + 0,310 \cdot d_p \cdot \theta_{cr} - 8 \cdot 10^{-4} \cdot d_p \cdot \theta_{cr} / (A_m / V) - 6 \cdot 10^{-4} \cdot \theta_{cr} / (A_m / V) - 0,032 / (A_m / V).$$

Wykorzystując uzyskaną zależność regresyjną czasu osiągnięcia temperatury krytycznej w konstrukcjach stalowych zabezpieczonych przed ogniem w zależności od grubości powłoki ogniochronnej i temperatury nagrzewania elementu stalowego, wykreślono odpowiednie powierzchnie, które przedstawiono na *Rysunku 5*.

Rysunek 5: Powierzchnia wartości czasu osiągnięcia temperatury krytycznej w konstrukcji stalowej zabezpieczonej przed ogniem w zależności od grubości powłoki ogniochronnej i współczynnika przekroju



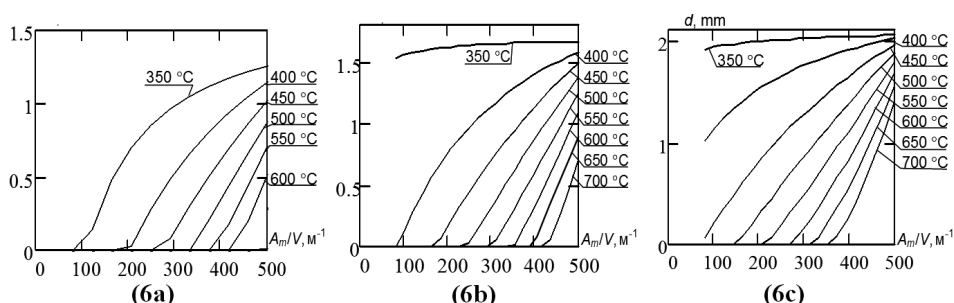
Źródło: własne opracowanie autorów.

Analiza regresji pokazuje, że wpływ grubości powłoki (d_p) jest najbardziej znaczący. Zwiększenie współczynnika przekroju konstrukcji negatywnie wpły-

wa na czas odporności ogniowej, co jest fizycznie uzasadnione. Współdziałanie czynników ($d_p \cdot \theta_{cr}$) wskazuje, że skuteczność pokrycia wzrasta przy wyższych temperaturach nagrzewania stali.

Na podstawie analizy regresji opracowano odpowiednie krzywe zależności grubości powłoki ogniochronnej od współczynnika przekroju konstrukcji stalowej w celu zapewnienia różnych klas jej odporności ogniowej przy osiągnięciu krytycznych temperatur o różnej wartości. Wykreślone krzywe przedstawiono na Rysunku 6.

Rysunek 6: Wykresy zależności grubości powłoki ogniochronnej od współczynnika przekroju konstrukcji stalowej w celu zapewnienia różnych klas jej odporności ogniowej: (6a) – R 30; (6b) – R 60; (6c) – R 90



Źródło: własne opracowanie autorów.

4. Dyskusja wyników badań

Otrzymane wyniki potwierdzają wysoką skuteczność kompozycji polisilo-kсанowych jako podstawy dla materiałów ogniochronnych. Kluczową przewagą badanej powłoki jest stabilność nieorganicznego rusztowania (Si-O-Si), wzmocnionego tlenkami tytanu i chromu. Pozwala to utrzymać warstwę piany na powierzchni konstrukcji stalowej nawet w wysokich temperaturach, gdy składniki organiczne ulegają wypaleniu.

Znaczne obniżenie przewodności cieplnej w temperaturze 200°C (początek pęcznienia) ma kluczowe znaczenie i świadczy o rozpoczęciu działania ochronnego powłoki właśnie wtedy, gdy jest to najbardziej potrzebne. Jednak nieliniowość tego procesu wymaga starannego podejścia do modelowania i obliczeniowej oceny odporności ogniowej. Zastosowanie stałych wartości przewodności cieplnej (co jest często praktykowane w uproszczonych obliczeniach) może prowadzić do znacznych błędów.

Wypracowane nomogramy stanowią gotowe narzędzie dla inżynierów-projektantów, pozwalające zoptymalizować zużycie materiału ogniochronnego

poprzez dobór odpowiedniej grubości powłoki ogniochronnej w zależności od krytycznej temperatury nagrzewania konstrukcji stalowej.

Warto zauważyć, że chociaż badania przeprowadzono na stalowych płytach, wyniki można z ostrożnością ekstrapolować na inne typy konstrukcji stalowych, biorąc pod uwagę różnicę w warunkach wymiany ciepła i specyfikę geometrycznych kształtów konstrukcji stalowych, co oczywiście będzie miało znaczenie dla dalszych badań.

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwoliły ustalić prawidłowości zmian współczynnika przewodności cieplnej i czasu osiągnięcia temperatury krytycznej w konstrukcjach stalowych zabezpieczonych przed ogniem w zależności od grubości powłoki ogniochronnej na bazie polisiloksanu i temperatury nagrzewania stalowego elementu konstrukcji o różnym przekroju.

Zaproponowana metodologia badań odporności ogniowej reaktywnej powłoki ogniochronnej na bazie polisiloksanu dla konstrukcji stalowych w warunkach wpływu cieplnego standardowego reżimu temperaturowego pożaru w zakresie grubości powłoki 0,3÷0,8 mm i współczynnika przekroju konstrukcji stalowej $125 \div 333 \text{ m}^{-1}$ wykazała swoją skuteczność.

Algorytm rozwiązania odwrotnego zadania przewodności cieplnej pozwolił prawidłowo zidentyfikować właściwości materiału ogniochronnego, co potwierdziło postawioną hipotezę przewidującą zachowanie chronionych konstrukcji w szerokim zakresie parametrów konstrukcyjnych. W szczególności określono zależność temperaturową efektywnej przewodności cieplnej powłoki oraz ustalono, że charakteryzuje się ona spadkiem z 0,02-0,04 W/(m·K) w temperaturze 20°C do 0,002-0,005 W/(m·K) w temperaturach powyżej 300°C, co wynika z tworzenia się porowatej warstwy koksowej. Weryfikacja modelu wykazała, że obliczone wartości czasu odporności ogniowej różnią się od eksperymentalnych nie więcej niż o 6%, co jest dopuszczalne dla obliczeń inżynierskich.

Ustalono zależność czasu osiągnięcia temperatury krytycznej w konstrukcjach stalowych zabezpieczonych przed ogniem w zależności od grubości powłoki ogniochronnej (d_p), temperatury nagrzewania stalowego elementu konstrukcji (θ_{cr}) oraz współczynnika przekroju stalowego elementu zabezpieczonego przed ogniem (A_m/V), w postaci:

$$t = -137,706 + 52,25 \cdot d_p + 0,417 \cdot d_p / (A_m / V) - 0,553 \cdot \theta_{cr} + 0,310 \cdot d_p \cdot \theta_{cr} - 8 \cdot 10^{-4} \cdot d_p \cdot \theta_{cr} / (A_m / V) - 6 \cdot 10^{-4} \cdot \theta_{cr} / (A_m / V) - 0,032 / (A_m / V).$$

Stworzone nomogramy pozwalają szybko i dokładnie dobrać grubość powłoki ogniochronnej, żeby zapewnić klasy odporności ogniowej R15-R90.

Kolejne badania warto ukierunkować na zachowania powłok ogniochronnych typu intumescent w warunkach temperatur, w których występuje scenariusz odbiegający od wartości temperatury standardowego pożaru, oraz na badanie skuteczności ogniochronnej powłoki na standardowych profilach konstrukcji stalowych o różnych kształtach przekroju.

Bibliografia

- Atchonouglo, K., Banna, M., Vallée, C., Dupré, J.-C., 2008. Inverse transient heat conduction problems and identification of thermal parameters. *Heat and Mass Transfer*, vol. 45, pp. 23–29. 10.1007/s00231-008-0383-7
- Cerny, M., Chlup, Z., Kuzma, J., Ruzicka, M., Sevcik, L., Kacha, P., Schweigstillova, J., Svitilova, J., Strachota, A., 2024. Fire Safety and Impact and Frost Resistance of Basalt Fiber-Reinforced Polysiloxane Matrix Composite Processed under Partial Pyrolysis Conditions. *Journal of Composites Science*, vol. 8(10), 405. DOI: 10.3390/jcs8100405
- Gravit, M., Kotlyarskaya, I., Zybina, O., Korolchenko, D., Nuguzhinov, Z., 2025. Fire Resistance of Building Structures and Fire Protection Materials: Bibliometric Analysis. *Fire*, vol. 8(1), 10. DOI: 10.3390/fire8010010
- Hyvliud, M. M., Smoliak, D. V., 2012. *Kompozytsiia dlia vysokotemperaturnoho ta vohnezakhysnoho pokryttia*. Patent Ukraina 71300.
- Hyvliud, M. M., Topylko, N. I., Yemchenko, I. V., 2007. *Kompozytsiia dlia vohnetryvkoho pokryttia*. Patent Ukraina 24792.
- Hyvliud, M. M., Vovk, S. Y., Hutsuliak, Y. V., Bashynskiy, O. I., 2012. *Temperaturo-vohnezakhysne pokryttia*. Patent Ukraina 66851.
- Hyvliud, M. M., Yemchenko, I. V., Hutsuliak, Y. V., Bashynskiy O. I., 2008. *Sklad dlia vysokotemperaturnoho zakhysnoho pokryttia*. Patent Ukraina 36228.
- Hyvliud, M. M., Yemchenko, I. V., Hutsuliak, Y. V., Bashynskiy, O. I., Artemenko, V. V., Peredrii, O. I., 2009. *Kompozytsiia dlia vysokotemperaturnoho zakhysnoho pokryttia*. Patent Ukraina 41193.
- Kovaliov, A., Zobenko, N., 2016. Metodyka poperednoi otsinky vohnezakhysnoi zdatnosti pokryttiv dlia stalevykh konstruktсий v umovakh temperaturnoho rezhymu vuhlevodnevoi pozhezhi. *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, no. 1(1), pp. 59–65.
- Lucherini, A., Silva, D., 2024. Modelling intumescent coatings for the fire protection of structural systems: A review. *Journal of Structural Fire Engineering*, no. 15, pp. 483–507.
- Mehta, C., Kumar, A., Tiwari, M. K., Kumar, R., Shoeb, M., 2024. Development of Low Smoke Environmental friendly Fire Retardant Intumescent Coatings for GI and Steel Structures. *Research Square*. DOI: 10.21203/rs.3.rs-3621335/v1
- Państwowy Standard Ukrainy DSTU B V.1.1-17:2007. *Zakhyst vid pozhezhi. Vohnezakhysni pokryttia dlia budivelykh nesuchykh metalevykh konstruktсий. Metod vyznachennia vohnezakhysnoi zdatnosti*.

- Państwowy Standard Ukrainy DSTU EN 13381-8:2022. *Metody vyprobuvannia dlia vyznachennia vplyvu na vohnestiikist elementiv konstruksii. Chastyna 8. Reaktyvni vohnezakhysni materialy dlia stalevykh konstruksii.*
- Państwowy Standard Ukrainy DSTU EN 13501-2:2023. *Pozhezhna klasyfikatsiia budivelnykh vyrobiv i budivelnykh konstruksii. Chastyna 2. Klasyfikatsiia za rezultatsy vyprobuvan na vohnestiikist (krim skladnykh ventyliatsiinykh system).*
- Państwowy Standard Ukrainy DSTU-N B EN 1991-1-2:2010 Eurokod 3. *Proektuvannia stalevykh konstruksii. Chastyna 1-2. Zahalni polozhennia. Rozrakhunok konstruksii na vohnestiikist.*
- Parkhomenko, R.V., Hyvliud, M. M., 2017. *Sklad dlia temperaturno-vohnezakhysnoho pokryttia.* Patent Ukraina 114043.
- Veselivskyy, R., Yakovchuk, R., Smolyak, D., V. Petrovskyy, V., 2024a. Eksperymentalni doslidzhennia vohnezakhysnoi zdatnosti vohnezakhysnoho pokryttia na osnovi polisyloksanu ta aliuminiu oksydu dlia stalevykh budivelnykh konstruksii. *Komunalne hospodarstvo mist*, no. 1(182), pp. 171–179.
- Veselivskyy, R., Yakovchuk, R., Petrovskyy, V., Havrys, A., Smolyak, D., Kahitin, O., 2024b. Environmentally safe installation for determining the fire resistance of coatings and fire resistance tests of small fragments building structures. *Strength of Materials and Theory of Structures*, no. 112/2024, pp. 248–257. DOI: 10.32347/2410-2547.2024.112.248-257
- Veselivskyy, R., Smolyak, D., 2021. Sposoby vohnezakhystu metalevykh budivelnykh konstruksii. *Bezpieczeństwo przeciwpożarowe*, nr 39, s. 63–76.
- Veselivskyy, R., Smolyak, D., 2022. Eksperymentalni doslidzhennia vohnezakhysnoi zdatnosti vohnezakhysnoho pokryttia na osnovi polisyloksanu ta aliuminiu oksydu dlia stalevykh budivelnykh konstruksii. *Bezpieczeństwo przeciwpożarowe*, nr 41, s. 31–37.
- Wang, L., Zhang, Y., Li, Z., 2020. *Intumescent Coatings for Fire Protection of Building Structures and Materials.* Dordrecht: Springer Nature.
- Yakovchuk, R. S., Parkhomenko, R.V., Hyvliud, M. M., Demydchuk, L. B., 2013. *Temperaturno-vohnezakhysne pokryttia.* Patent Ukraina 79962.
- Zalewski, K., Chylek, Z., Trzciński, W., 2021. A Review of Polysiloxanes in Terms of Their Application in Explosives. *Polymers*, vol. 13(7), 1080. DOI: 10.3390/polym13071080
- Zielecka, M., Rabajczyk, A., Cygańczuk, K., Pastuszka, Ł., Jurecki, L., 2020. Silicone Resin-Based Intumescent Paints. *Materials*, vol. 13(21), 4785. DOI: 10.3390/ma13214785

Recent publications:

- Mamonova, N., Borodina, O., 2025. Food systems of internally displaced persons in Ukraine during Russia's full-scale war. *The Journal of Peasant Studies*, vol. 53, iss. 2, pp. 422–442. DOI: 10.1080/03066150.2025.2519635
- Yarovyi, V., Krupin, V., Borodina, O., Wojciechowska, A., 2025. Food Prices and the Right to Food: Assessing Trends in Ukraine During Wartime. *European Research Studies Journal*, vol. XXVIII, iss. 3, pp. 61–72. DOI: <https://doi.org/10.35808/ersj/4033>

Ivan Balaniuk – doctor of Economics Sciences, professor, a Head of the Department of Accounting and Taxation (Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ukraine). His research interests include accounting policy, marketing, and the development of agrarian relations. He is an author of over 250 publications, including monographs and textbooks. Recipient of numerous awards, including the title “Honored Worker of Science and Technology of Ukraine”.

Recent publications:

- Shelenko, D., Shpykuliak, O., Balaniuk, I., Mazur, H., Boichuk, Ya., 2025. Monitoring and assessment of the competitiveness of products, goods, and services in the context of innovative entrepreneurship development. *Economics and Business Management*, vol. 16, no. 3, pp. 9–26. DOI: 10.31548/economics/3.2025.09
- Balanyuk, I.F., Ivanochko, B.R., 2025. Investment support for the socio-economic development of territorial communities. Ivano-Frankivsk.

Roman Veselivskyy – PhD in Engineering, Lviv State University of Life Safety (Ukraine). He is a scholarship holder of the Kirkland Research Program in academic year 2025–2026. Research interests: fire safety engineering, structural engineering, fire resistance and fire protection of building structures.

Recent publications:

- Veselivskyy, R., Kovalychyn V., Demchyna B., Yakovchuk, R., Havrys, A., 2025. Experimental study of foam concrete as a fire protection material and a material capable of absorbing γ -radiation. *Strength of Materials and Theory of Structures*, no. 115/2025, pp. 375–382. DOI: 10.32347/2410-2547.2025.115.375-382
- Sidnei, S., Myroshnyk, O., Kovalov, A., Veselivskyy, R., Hryhorenko, K., Shnal, T., Matsyk, I., 2024. Identifying the evolution of through cracks in iron-reinforced hollow slabs under the influence of a standard fire temperature mode. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 4, no. 7(130), pp.70–77. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.310520

Roman Yakovchuk – D.Sc. in Engineering, Lviv State University of Life Safety (Ukraine). Research interests: fire safety engineering, safety engineering, civil protection, civil engineering.

Recent publications:

- Pozdieiev, S., Havrys, A., Tur, N., Yakovchuk, R., Liubovetskyi, O., 2025. Calculated assessment of the functional suitability of modular-type protective structures (shelters) during the use of enemy air attack weapons. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*, no. 32, pp. 221–235;
- Kagitin, O., Veselivskyi, R., Havrys, A., Ballo, Y., Yakovchuk, R., Kovalyshyn, B., 2024. Determining the influence of façade parameters and the width of a fire-proof eaves on preventing the spread of fire through external vertical structures of buildings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 4, no. 1(130), pp. 6–16. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.303640

Dmytro Smolyak – PhD in Engineering, Lviv State University of Life Safety (Ukraine). Research interests: fire safety engineering, high-altitude rescue.

Recent publications:

- Veselivskyi, R., Yakovchuk, R., Petrovskyi, V., Havrys, A., Smolyak, D., Kahitin, O., 2024. Environmentally safe installation for determining the fire resistance of coatings and fire resistance tests of small fragments building structures. *Strength of Materials and Theory of Structures*, no. 112/2024, pp. 248–257. DOI: 10.32347/2410-2547.2024.112.248-257
- Veselivskyi, R., Smolyak, D., Polishchuk, I., Petrenko, A., 2025. Study of the effectiveness methods of fixing of the lifeline to the structure. *Fire Safety*, no. 46, pp. 20–29. DOI: 10.32447/20786662.46.2025.02

Ihor Polishchuk – Lviv State University of Life Safety (Ukraine). Research interests: fire safety engineering, high-altitude rescue.

Recent publications:

- Veselivskyi, R., Smolyak, D., Polishchuk, I., Petrenko, A., 2025. Study of the effectiveness methods of fixing of the lifeline to the structure. *Fire Safety*, no. 46, pp. 20–29. DOI: 10.32447/20786662.46.2025.02
- Veselivskyi, R., Smolyak, D., Polishchuk, I., Antoshkiv, Y., Bushuiev, O., Khalep, V., 2025. Studying methods of climbing an elevated hook ladder. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*, no. 32, pp. 179–189. DOI: 10.32447/20784643.32.2025.15

Nowe horyzonty w prawie rolnym:

innowacyjność,
zrównoważony rozwój
i wyzwania XXI wieku

Redaktorzy naukowcy
Iga Karasińska, Adam Niewiadomski



Małgorzata Oleś-Filiks

Sztuczna inteligencja w systemach informatycznych zarządzania w środowisku procesowym



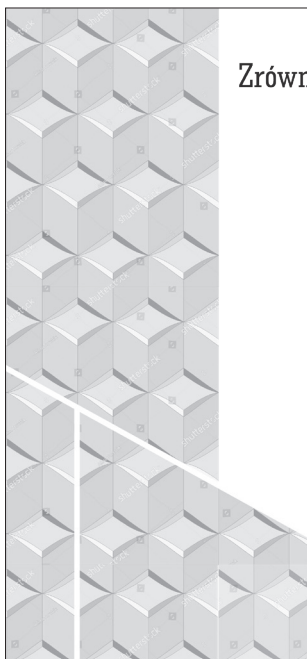
WUW

Sekcja Wydawnicza
Wydział Zarządzania
Uniwersytetu Warszawskiego



Zrównoważony rozwój konceptcja perspektywy wyzwania

redakcja naukowa
Agneta Dziewulska
Ewa Krogulec



WYBRANE ASPEKTY TRANSFORMACJI KLIMATYCZNEJ I ENERGETYCZNEJ

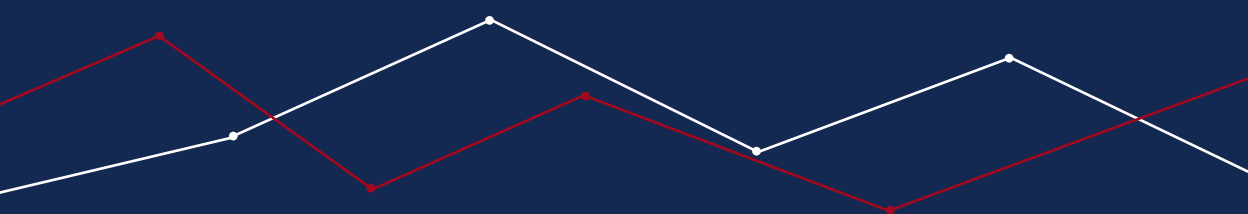
redakcja naukowa
Grzegorz Tchorek i Michał Kołtuniak

WUW

Sekcja Wydawnicza
Wydział Zarządzania
Uniwersytetu Warszawskiego



Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego
ul. Smyczkowa 5/7, 02-678 Warszawa
tel. 22 55 31 333
www.wuw.pl



10
years



POLSKO-AMERYKAŃSKA
FUNDACJA WOLNOŚCI



70
LAT WUW
www.wuw.pl