

STRUCTURE AND ENVIRONMENT online

ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENTAL ENGINEERING, ENERGY AND GEOMATIC

No. 1/2019 vol. 11 e-ISSN 2657-6902 www.sae.tu.kielce.pl KIELCE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Contents

structure

EWELINA TKACZEWSKA

THE INFLUENCE OF CEMENT BYPASS DUST ON THE PROPERTIES OF CEMENT CURING UNDER NORMAL AND AUTOCLAVE CONDITIONS

WPŁYW PYŁU Z INSTALACJI BYPASSA PIECA CEMENTOWEGO NA WŁAŚCIWOŚCI CEMENTU DOJRZEWAJĄCEGO W WARUNKACH NORMALNYCH I AUTOKLAWIZACJI 5

GRZEGORZ MAZUREK, MAREK PSZCZOŁA, CEZARY SZYDŁOWSKI

NON-LINEAR MASTIC CHARACTERISTICS BASED ON THE MODIFIED MSCR (MULTIPLE STRESS CREEP RECOVERY) TEST
NIELINIOWA CHARAKTERYSTYKA MASTYKSU NA PODSTAWIE ZMODYFIKOWANEJ METODY MSCR 23

EDYTA BANACHOWSKA

SECOND LIFE OF THE 19th AND 20th CENTURY BUILDINGS ON THE EXAMPLE OF THE REVITALIZATION OF ARCHITECTURE BUILDINGS ART GALLERIES CULTURE CENTRES

DRUGIE ŻYCIE BUDYNKÓW XIX I XX WIEKU NA PRZYKŁADZIE REWITALIZACJI OBIEKTÓW ARCHITEKTONICZNYCH GALERIE SZTUKI CENTRA KULTURY 35

LUCJAN W. KAMIONKA

SUSTAINABLE DESIGN – NEW STANDARDS IN SPACE CREATION – A REVIEW OF THE SELECTED STUDENT WORKS

PROJEKTOWANIE ZRÓWNOWAŻONE – NOWE STANDARDY KSZTAŁTOWANIA PRZESTRZENI NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH PRAC STUDENCKICH 54

environment

KATARINA PUKANSKÁ, KAROL BARTOŠ, JANKA SABOVÁ, LUBOMIR KSEŇAK, PETER BLIŠTÁN, PAWEŁ FRĄCKIEWICZ

3D MODELLING OF A COMPLEX CEILING CONSTRUCTION USING NON-CONTACT SURVEYING TECHNOLOGIES

MODELOWANIE 3D ZŁOŻONEJ KONSTRUKCJI STROPU PRZY ZASTOSOWANIU BEZDOTYKOWYCH METOD GEODEZYJNYCH 67

KASSAYE GUDETA DEYASSA

THE EFFECTIVENESS OF ISO 14001 AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM – THE CASE OF NORWEGIAN FIRMS

EFEKTYWNOŚĆ ISO 14001 I SYSTEMU ZARZĄDZANIA ŚRODOWISKIEM – PRZYPADEK FIRM NORWESKICH 77

ABSTRACTS 91

HOW TO PREPARE THE MANUSCRIPT 97

THE REVIEW PROCESS 98

Editor-in-Chief:

Prof. Zdzisława OWSIAK – Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kielce University of Technology (Poland)

International Advisory Board:

Chairman: Prof. Wiesław TRĄMPCZYŃSKI – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Vadim ABIZOW – Kyiv National University of Technologies and Design (Ukraine)
Prof. Satoshi AKAGAWA – Hokkaido University, Sapporo (Japan)
Prof. Tomasz ARCISZEWSKI – George Mason University (USA)
Prof. Elżbieta BEZAK-MAZUR – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Mark BOMBERG – McMaster University (Canada)
Prof. Jan BUJNAK – University of Žilina (Slovakia)
Prof. Dorota CHWIEDUK – Warsaw University of Technology (Poland)
Prof. Barbara GOSZCZYŃSKA – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Krystyna GURANOWSKA-GRUSZECKA – Warsaw University of Technology (Poland)
Prof. Jerzy HOŁA – Wrocław University of Science and Technology (Poland)
Prof. Go IWAHANA – University of Alaska Fairbanks (USA)
Prof. Lucjan KAMIONKA – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Andrej KAPJOR – University of Žilina (Slovakia)
Prof. Zbigniew KOWAL – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Tomasz KOZŁOWSKI – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Andrzej KULICZKOWSKI – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Józef MELCER – University of Žilina (Slovakia)
Prof. Mikhail NEMCHINOV – Moscow State Automobile and Road Technical University MADI (Russia)
Prof. Andrzej S. NOWAK – Auburn University (USA)
Prof. Ana Cristina Dinis Vicente PARDAL – Polytechnic Institute of Beja (Portugal)
Prof. Wojciech G. PIASTA – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Jorge Cruz PINTO – Universidade de Lisboa (Portugal)
Prof. Jerzy Z. PIOTROWSKI – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Karel POSPÍŠIL – The Transport Research Centre CDV (Czech Republic)
Prof. Claude VAN ROOTEN – Belgian Road Research Centre (Belgium)
Prof. Zbigniew RUSIN – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Wacław SERUGA – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Jacek SZEWCZYK – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Jerzy WAWRZEŃCZYK – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Bogdan WOLSKI – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Maria ŻYGADŁO – Kielce University of Technology (Poland)

Associate Editors:

Prof. Lidia DĄBEK – Faculty of Environmental, Geomatic and Energy Engineering, Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Marek IWAŃSKI – Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kielce University of Technology (Poland)

Secretary of the Editor Board:

Łukasz ORMAN, Ph.D., D.Sc. – Faculty of Environmental, Geomatic and Energy Engineering, Kielce University of Technology (Poland)

Photos on the cover – author Edyta Banachowska

www.sae.tu.kielce.pl

sae@tu.kielce.pl

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

The Journal published by the Kielce University of Technology

e-ISSN 2657-6902

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2019

25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, tel. 41 34 24 581

www.wydawnictwo.tu.kielce.pl

Index Copernicus Value(ICV) za rok 2017 = 86.59



Kielce University of Technology
2019

INDEX  COPERNICUS
I N T E R N A T I O N A L



structure
structure



EWELINA TKACZEWSKA
AGH University of Science and Technology
e-mail: tkaczews@agh.edu.pl

Manuscript submitted 2019.01.31 – revised 2019.02.21,
initially accepted for publication 2019.02.26, published in March 2019

THE INFLUENCE OF CEMENT BYPASS DUST ON THE PROPERTIES OF CEMENT CURING UNDER NORMAL AND AUTOCLAVE CONDITIONS

WPŁYW PYŁU Z INSTALACJI BYPASSA PIECA CEMENTOWEGO NA WŁAŚCIWOŚCI CEMENTU DOJRZEWAJĄCEGO W WARUNKACH NORMALNYCH I AUTOKLAWIZACJI

DOI: 10.30540/sae-2019-001

Abstract

This paper analyses the properties of cement binders composed with cement CEM I 42.5R and cement bypass dust in amount of 0.5, 1.0 and 5.0% by mass of binder, curing under standard and additionally autoclave conditions. The bypass dust increases the water content for standard consistency and delays the initial setting time of binder. The cement paste containing 5% of dust reveals the change in volume by 6 mm according to Le Chatelier test. After 2 days, the compressive strength of cement mortar containing bypass is comparable to that of Portland cement mortar, but at later time the strength development of this cement binder is slower. The addition of cement bypass dust in amount to 1% can obtain the cement of strength class of 42.5R according to standard PN-EN 197-1. The autoclave curing improves the compressive strength of cement mortar. The SEM/EDS observations confirm the presence of low crystalline C-S-H gel and well-formed tobermorite fibres in autoclaved cement mortar containing 5% of cement bypass dust.

Keywords: cement bypass dust, curing condition, standard consistency, initial setting time, soundness, compressive strength, SEM/EDS analysis

Streszczenie

W pracy analizowano właściwości spoiw cementowych zawierających w składzie cement portlandzki CEM I 42,5R i pył z instalacji bypassa pieca cementowego w ilości 0,5, 1,0 i 5,0% masy spoiwa, dojrzewających w warunkach normalnych i dodatkowo w autoklawie. Pył z bypassa zwiększa ilość wody niezbędnej do uzyskania konsystencji normowej oraz opóźnia początek czasu wiązania spoiwa. Zaczyn zawierający 5% pyłu wykazuje zmianę objętości o 6 mm według Le Chateliera. Po dwóch dniach wytrzymałość na ściskanie zaprawy ze spoiwa zawierającego pył z bypassa jest porównywalna z wytrzymałością zaprawy z cementu portlandzkiego, ale w miarę upływu czasu przyrost wytrzymałości zaprawy z tego spoiwa jest mniejszy. Dodatek pyłu z bypassa w ilości nieprzekraczającej 1% pozwala otrzymać cement klasy wytrzymałości 42,5R według wymagań normy PN-EN 197-1. Autoklawizacja zwiększa wytrzymałość na ściskanie zaprawy cementowej, a pył z bypassa stanowi jeden z czynników poprawiających właściwości wytrzymałościowe. Obserwacje SEM/EDS potwierdzają obecność słabo wykryształizowanego żelu C-S-H i dobrze wykształconych włókien tobermorytu w próbce zaprawy zawierającej 5% pyłu z bypassa dojrzewającej w warunkach autoklawu.

Słowa kluczowe: pył z instalacji bypassa pieca cementowego, warunki dojrzewania, konsystencja normowa, początek czasu wiązania, stałość objętości, wytrzymałość na ściskanie, analiza SEM/EDS

1. INTRODUCTION

Due to the character of the technological process, the cement industry is a significant source of dust and gas emissions. In the production process of Portland cement clinker (semi-finished product in the

1. WPROWADZENIE

Ze względu na charakter procesu technologicznego przemysł cementowy jest znaczącym źródłem emisji pyłów i gazów. W procesie produkcji klinieru portlandzkiego (półproduktu w produkcji ce-

cement manufacturing) the large amounts of dusts are released, among others the dusts from the kiln dedusting installation (specified as CKD – Cement Kiln Dust) and dusts from bypass installation (CBPD – Cement By-Pass Dust). The CBPD can be divided into two types depending on the place from which they are taken: dust collected right at the cold end of the kiln and after the addition of limestone powder to prevent clogged drain pipes [1–4].

The CKD is always released in the cement production process, in opposite to CBPD, because the bypass installation is only used in certain specific cases, for reducing the chlorine and alkalis.

The quality of CBPD depends on the clinker burning technology, the type of raw materials and fuels used in production of clinker and the method for removing dust from material [5, 6]. The CBPD differs in chemical and mineral composition and physical properties [7–10].

The CBPD is characterized by high concentration of chlorine in relation to CKD, for which the concentration of chlorine is marginally. The other significant difference is the content of K_2O and SO_3 . The content of potassium and sulphur in CBPD can be even 2–2,5 times higher than that in CKD [11–13].

Because of the Portland cement clinker production is constantly increasing, the amount of emitted cement dusts, including also CBPD dust, is also increasing. From this reason, the utilization of bypass dust in different industries is more and more broadly discussed. Nowadays, the bypass dust is used for example in production of cement and glass, for construction of roads and highways and manufacture of concrete. The application of this waste in the field of solid stabilization is also a major interest [14–16].

The quality chemical composition of CBPD is compared to raw feed used for cement clinker production [4, 17]. The main oxide in bypass dust is CaO , which concentration, as it is shown by authors [7, 12, 18, 19], is in the range of 40 to 60%. The other components are SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O and Na_2O . In comparison to Portland cement clinker, the bypass dust is characterized by high content of alkalis, especially K_2O , chlorides and SO_3 . The concentration of these oxides in bypass dust is determined by the type of fuel using in cement production, especially by using alternative fuels such as plastics, bone meal, sewage sludge, etc. This high concentration of alkalis, chlorine and sulphur

mentu) wydzielane są duże ilości pyłów m.in. pyłów z pieców do wypalania klinkieru: z instalacji odpylania pieca (określanych skrótem CKD – z ang. Cement Kiln Dust) oraz z filtrów obejściowych bypassa (CBPD – z ang. Cement Bypass Dust). Pyły CBPD można podzielić na dwa rodzaje w zależności od miejsca, z którego są pobierane: pyły odbierane zaraz przy zimnym końcu pieca oraz po dodaniu mączki wapiennej w celu zapobiegania zatykaniu przewodów [1–4].

Pyły CKD są zawsze wytwarzane w procesie produkcji cementu, w przeciwieństwie do pyłów CBPD, gdyż instalacja bypassa jest używana tylko w pewnych specyficznych wypadkach w celu ograniczenia poziomu chloru i alkaliów.

Jakość pyłów z bypassa jest uzależniona od technologii wypalania klinkieru, rodzaju stosowanych surowców i paliw oraz sposobu odpylania materiału [5, 6]. Pyły te są zróżnicowane pod względem składu chemicznego, mineralnego i właściwości fizycznych [7–10].

Pył CBPD charakteryzuje się wysoką zawartością chloru w stosunku do pyłu CKD, gdzie udział chloru jest marginalny. Kolejna istotna różnica dotyczy zawartości K_2O i SO_3 , których górna zawartość w pyłe CBPD może być nawet 2–2,5 razy większa niż w pyłe CKD [11–13].

Ponieważ produkcja klinkieru portlandzkiego stale rośnie, wzrasta także ilość emitowanych pyłów cementowych, w tym pyłu CBPD. Z tego powodu coraz częściej dyskutuje się na temat wykorzystania pyłu z bypassa w różnych branżach. Obecnie jest on wykorzystywany na przykład w technologii produkcji cementu i szkła, do budowy dróg i autostrad oraz w produkcji betonu. Zainteresowaniem cieszy się również stosowanie tego odpadu do stabilizacji gruntów [14–16].

Jakościowy skład chemiczny pyłu CBPD jest zbliżony do składu mączki surowcowej stanowiącej nadawę surowcową pieca do produkcji klinkieru portlandzkiego [4, 17]. Podstawowym tlenkiem w pyłe jest CaO , którego udział, jak wskazują wyniki badań [7, 12, 18, 19], wynosi od 40% do 60%. Pozostałymi tlenkami są: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O i Na_2O . W porównaniu do klinkieru portlandzkiego pył z bypassa charakteryzuje się wysokim udziałem alkaliów, zwłaszcza K_2O , chlorków i SO_3 . Zawartość tych tlenków w pyłe zależy od rodzaju paliwa stosowanego do produkcji cementu, zwłaszcza w przypadku stosowania paliw alternatywnych, takich jak tworzywa sztuczne, mączka kostna, osady ściekowe itp. Ta wysoka koncentracja alkaliów, chlorków i siarki znaczą-

significantly limits the possibility of using cement bypass dust in cement production [8, 10, 17, 18, 20].

The main phase compounds in CBPD are: sylvite (potassium chloride – KCl), halite (sodium chloride – NaCl), free lime (CaO), anhydrite – CaSO_4 , calcite – CaCO_3 , quartz – SiO_2 , calcium hydroxide – Ca(OH)_2 and belite [4, 10, 17, 19].

The influence of bypass dust on the cement properties was investigated in papers [3, 18, 21–23]. The introduction of CBPD dust into the cement causes the increase in water required to obtain cement paste of standard consistency. At 10% addition of CBPD, the water demand is increased by about 22% as compared to Portland cement paste [3]. It is probably due to greater fineness of CBPD than that of typical Portland cement. The paper [3] showed that the increase in initial setting time of cement paste containing 10% of CBPD is shorten by about 45%. The compressive strength of cement mortar containing CBPD is comparable to that of ordinary Portland cement, but only if the content of CBPD dust does not exceed 6%, which is confirmed in paper [18] (the drop in compressive strength is equal to the so-called “dilution effect” of the cement component in the binder).

At higher addition of bypass dust, the higher decrease in compressive strength is denoted, for example up to 30%, when the content of bypass dust in the binder is 10%. A large impact on the cement mortar strength is the high content of free (unbound) CaO in the bypass dust. The free lime is characterized by high reactivity and quickly reacts with water. The hydration of CaO leads to form of Ca(OH)_2 , which molar volume is greater than molar volume of CaO. In effect, the stretching stresses are formed in the material, defined as uneven volume changes during hardening cement. The consequence of that may be lower mechanical strength and destructive changes of cement mortar.

In the literature, the much attention has been given to the characteristics of CKD dust and its effect on the cement properties. However, there are fewer works on the properties of cement containing CBPD dust.

The aim of this paper is the analysis of properties of cement binder containing cement dust from bypass installation. The three cement binders were prepared in which CBPD dust was a partial substitute for Portland cement CEM I 42.5R, and its content was 0.5%, 1.0% or 5.0% by mass of cement binder (CBPD dust as a secondary component for cement production). The standard consistency, initial setting

co ogranicza możliwość zastosowania pyłu z bypassa w produkcji cementu [8,10,17,18,20].

Głównymi składnikami mineralnymi w CBPD są: sylwin (chlorek potasu – KCl), halit (chlorek sodu – NaCl), wolne wapno – CaO, anhydryt – CaSO_4 , kalcyt – CaCO_3 , kwarc – SiO_2 , wodorotlenek wapnia – Ca(OH)_2 oraz belit [4, 10, 17, 19].

Wpływ pyłu z bypassa na właściwości cementu analizowano w pracach [3, 18, 21–23]. Wprowadzenie do składu cementu CBPD zwiększa wzrost ilości wody niezbędnej do uzyskania zaczynu o konsystencji normowej. Przy dodatku 10% pyłu CBPD ilość wymaganej wody wzrasta o około 22% w stosunku do zaczynu z cementu portlandzkiego [3]. Jest to prawdopodobnie spowodowane znacznie większą mialkością pyłu CBPD w stosunku do typowego cementu portlandzkiego. W pracy [3] wykazano, że początek czasu wiązania zaczynu zawierającego 10% CBPD ulega skróceniu o około 45%. Wytrzymałość na ściskanie zaprawy zawierającej pył CBPD jest porównywalna z wytrzymałością cementu portlandzkiego, ale tylko wtedy, gdy udział pyłu CBPD w spoiwie nie przekracza 6%, co potwierdzają wyniki badań [18] (spadek wytrzymałości jest równy tzw. „efektowi rozcieńczenia” składnika cementowego w spoiwie).

Przy większym udziale pyłu z bypassa obserwuje się większy spadek wytrzymałości zaprawy, np. nawet do 30%, gdy udział pyłu w spoiwie wynosi 10%. Znaczący wpływ na wytrzymałość zaprawy ma wysoki udział wolnego (niezwiązanego) CaO w pyłe. Wolne CaO charakteryzuje się wysoką reaktywnością i szybko reaguje z wodą. Hydratacja CaO prowadzi do powstania Ca(OH)_2 , którego objętość molowa jest dużo większa niż objętość molowa CaO. W efekcie w materiale powstają naprężenia rozciągające, określane jako nierównomierne zmiany objętości podczas twardnienia. Konsekwencją tego może być obniżona wytrzymałość mechaniczna i zmiany destrukcyjne zaprawy cementowej.

W literaturze wiele uwagi poświęcono charakterystyce pyłu CKD i jego wpływowi na właściwości cementu. Natomiast mniej jest prac na temat właściwości cementu zawierającego w składzie pył CBPD.

Celem niniejszej pracy jest analiza właściwości spoiwa cementowego zawierającego w składzie pył cementowy z instalacji bypassa. Przygotowano trzy spoiwa cementowe, w których pył CBPD był traktowany jako częściowym substytut cementu portlandzkiego CEM I 42,5R, a jego udział wynosił 0,5%, 1,0% lub 5,0% masy spoiwa (pył CBPD jako składnik drugorzędny w produkcji cementu). Oznaczono kon-

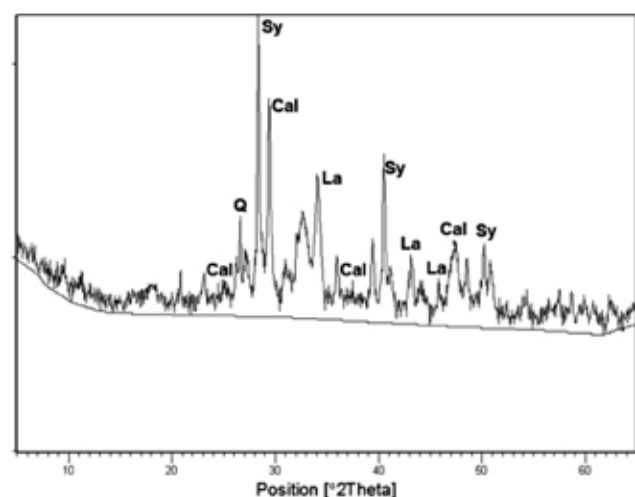
time, soundness and compressive strength of cement binder was designated. The strength researches were made for cement mortars cured under normal and autoclave conditions. In final research stage, the SEM/EDS observations of microstructure of cement mortar were made.

2. EXPERIMENT

2.1. Materials

The Portland cement CEM I 42.5R (OPC – Ordinary Portland Cement) used in this experiment came from one of the Polish cement plant. Its chemical composition is shown in Table 1. The phase composition was calculated from Bogue's formulas [24]: 67.9% C_3S , 6.9% β - C_2S , 7.4% C_3A and 6.8% C_4AF .

The cement dust used in the experiment came from the bypass installation of the rotary kiln in the production of Portland cement clinker from the same cement plant. The chemical composition of the bypass dust is shown in Table 1. Its phase composition was determined by X-ray quality diffractometry. The XRD pattern of CBPD is shown in Figure 1.



As it is shown in Table 1, the specific density of CBPD is about 2.42 kg/m³, whereas its specific surface area, determining by Blaine's method, is 8450 cm²/g (2-times higher than that of cement CEM I 42.5R). The specific density of bypass dust is on the range of 2.6-2.8 kg/m³, and its specific surface area – from 4600 cm²/g to even 14000 cm²/g [10, 25, 26]. In grain size distribution is dominated by finer grains with diameter below 32 μ m (about 75% by mass of bypass dust), and the maximum grain size does not exceed 300 μ m.

systemię normową, początek czasu wiązania, stałość objętości oraz wytrzymałość na ściskanie spoiw cementowych. Badania wytrzymałości dotyczyły zapraw dojrzewających w warunkach normalnych oraz po procesie autoklawizacji. Końcowy etap badań obejmował obserwacje mikrostruktury zapraw cementowych metodą SEM/EDS.

2. CZĘŚĆ EKSPERYMENTALNA

2.1. Materiały

W badaniach zastosowano cement portlandzki CEM I 42,5R (OPC – z ang. Ordinary Portland Cement), który pochodził z jednego z polskich zakładów cementowych. Jego skład chemiczny przedstawiono w tabeli 1. Skład fazowy obliczono ze wzorów Bogue'a [24]. Wynosił on 67,9% C_3S , 6,9% β - C_2S , 7,4% C_3A i 6,8% C_4AF .

Pył cementowy użyty w badaniach pochodził z instalacji bypassa pieca obrotowego do wypalania klinieru portlandzkiego i był dostarczony z tej samej cementowni. Skład chemiczny pyłu pokazano w tabeli 1. Jego skład fazowy określono metodą jakościowej dyfraktometrii rentgenowskiej. Dyfraktogram XRD of CBPD przedstawiono na rysunku 1.

Fig. 1. The XRD pattern of cement bypass dust: Cal – calcite, Q – quartz, Sy – sylvine, Be – belite, L – lime (CaO)

Rys. 1. Dyfraktogram XRD pyłu cementowego z bypassa: Cal – kalcyt, Q – kwarc, Sy – sylwin, Be – belit, L – wapno (CaO)

Jak przedstawiono w tabeli 1, pył z bypassa wykazuje gęstość właściwą około 2,42 kg/m³, natomiast jego powierzchnia właściwa, mierzona metodą Blaine'a, wynosi 8450 cm²/g (dwukrotnie większa niż cementu CEM I 42,5R). Gęstość właściwa pyłu z bypassa zmienia się w zakresie 2,6-2,8 kg/m³, a jego powierzchnia właściwa od 4600 cm²/g do nawet 14000 cm²/g [10, 25, 26]. W składzie ziarnowym dominują bardzo drobne ziarna o średnicy poniżej 32 μ m (około 75% masy pyłu), a maksymalny wymiar ziarna nie przekracza 300 μ m.

Table 1. Chemical composition and physical properties of materials used in the experiment

Tabela 1. Skład chemiczny i właściwości fizyczne materiałów użytych w badaniach

Parameter		OPC (ordinary Portland cement CEM I 42.5R)	CBPD (Cement by-pass dust)
Chemical composition (wt%)	Loss on ignition (1100°C)	2.67	4.85
	CaO	64.26	55.72
	SiO ₂	20.14	15.95
	Al ₂ O ₃	4.22	3.13
	Fe ₂ O ₃	2.25	2.04
	MgO	2.21	1.49
	SO ₃	3.15	1.74
	K ₂ O	0.94	9.15
	Na ₂ O	0.16	0.24
	Na ₂ O _e	0.78	6.26
	Cl ⁻	0.08	5.69
	CaO _{free}	0.01	7.96
Density (k/m ³)		3.15	2.42
Blaine's surface area (cm ² /g)		4050	8450

Comparing the chemical compositions of Portland cement and cement bypass dust, it can be seen that the main component of both materials is calcium oxide (Table 1). The content of CaO in Portland cement is 64.26%. For CBPD the content of CaO is 55.72%. The free lime content in Portland cement is only 0.01%, but in the case of CBPD is raised to 7.96% (glycol method). Such high concentration of free lime in CBPD may cause deterioration in properties of cement bypass binders. The free lime reacts with water slowly, much longer than the binding process of cement paste. The lime hydration occurs with a significant change in the volume of hardened cement mortar (lack of volume stability), causing stretching stress in non-plastic cement paste. In consequence, this leads to forming of cracks, and even to destroying of material.

Considerable attention is paid to the high content of alkali oxides in bypass dust. The concentration of alkalis expressed as sodium equivalent Na₂O_e (= Na₂O + 0.658 · K₂O) is 6.26% in bypass dust, whereas in Portland cement – 0.78%. In particular, the content of potassium oxide is very high. The concentration of K₂O in bypass dust is 9.15% and is almost 10 times higher than that in Portland cement. Such high proportion of K₂O may activate the hydraulic properties of bypass dust and, as a result, accelerate the hydration process of cement binder with time.

The characteristic property of bypass dust is high concentration of Cl⁻ ions, at about 5.69%. In used Portland cement the amount of Cl⁻ ions is only 0.08%.

Porównując skład chemiczny cementu portlandzkiego i pyłu z bypassa, można zauważyć, że dominującym składnikiem obu materiałów jest tlenek wapnia (tabela 1). Udział CaO w cemencie portlandzkim wynosi 64,26%, natomiast w pyłe bypass 55,72%. Cement portlandzki zawiera tylko 0,01% wolnego CaO, podczas gdy w pyłe bypass udział wolnego CaO jest duży – 7,96% (metoda glikolowa). Tak wysoka koncentracja wolnego CaO w pyłe z bypassa może wpływać niekorzystnie na właściwości spoiwa cementowego zawierającego w składzie pył z bypassa. Hydratacja wapna zachodzi ze znaczną zmianą objętości stwardniałej zaprawy cementowej (brak stałości objętościowej), powodując powstanie naprężeń rozciągających w nieplastycznym zaczynie cementowym. W konsekwencji prowadzi to do powstawania spękań, a nawet może doprowadzić do zniszczenia materiału.

Uwagę zwraca wysoka zawartość alkaliów w pyłe bypass. Udział alkaliów w przeliczeniu na ekwiwalent sodowy Na₂O_e, określonego wzorem Na₂O + 0,658 · K₂O, wynosi aż 6,26% w pyłe bypass, natomiast w cemencie portlandzkim – 0,78%. Zwłaszcza wysoka jest zawartość tlenku potasu. Udział K₂O w pyłe bypass wynosi 9,15% i jest prawie dziesięciokrotnie większy niż w cemencie portlandzkim. Tak wysoki udział tlenku potasu może aktywować właściwości hydrauliczne pyłu z bypassa, a w konsekwencji przyspieszyć proces hydratacji spoiwa cementowego w czasie.

Cechą charakterystyczną pyłu z bypassa jest wysoki udział jonów chloru, na poziomie 5,69%. W za-

In the case of sulphur, the decrease in its concentration is observed for bypass dust, by about 45% as compared to Portland cement.

The high content of volatile components (including potassium, chlorine and sulfur) in the used bypass dust has a direct impact on the high value of loss on ignition, which value reaches almost 5%.

The results of phase composition of bypass dust, presented in Figure 1, show that the main phase component in dust are: calcite (CaCO_3), quartz (SiO_2), sylvine (KCl) and belite (Ca_2SiO_4), which is agreement with authors [4, 9, 19]. There were also reflections from lime, which confirms the high content of free CaO in bypass dust (Table 1).

2.2. Experimental methods

The research tests included four cement binder with the composition given in Table 2. The industrial ordinary Portland cement CEM I 42.5R (the symbol C0) was used as the control cement. The cement binder of C1-C3 were prepared by mixing Portland cement with bypass dust in amount of 0.5%, 1% and 5% by mass of binder.

Cement sample	OPC	CBPD
C0	100	¾
C1	99.95	0.05
C2	99.0	1.0
C3	95.0	5.0

The effect of bypass dust on the properties of cement binder such as standard consistency, initial setting time, soundness and compressive strength were analysed. The SEM/EDS observations of cement mortar microstructure are also made.

The standard consistency and initial setting time of cement pastes were carried out according to standard PN-EN 196-3:2016 "Method of testing cement – Part 3: Determination of setting times and soundness". The cement pastes were prepared by mixing of 500 g of cement and with a predetermined amount of water. The water demand of cement pastes was evaluated when the Vicat plunger penetrated to cement paste to a depth of 6 ± 2 mm from the glass plate, on which the Vicat mould with cement paste was placed. Next, the cement paste of standard consistency was penetrated by the Vicat needle, measuring the time from the

stosowanym cemencie portlandzkim udział jonów Cl^- wynosi tylko 0,08%.

W przypadku siarki obserwujemy spadek jej udziału w pyłe z bypassa o około 45% w porównaniu z cementem portlandzkim.

Duża zawartość składników lotnych (m.in. potasu, chloru oraz siarki) w zastosowanym pyłe cementowym z bypassa ma bezpośredni wpływ na wysoką wartość straty prażenia, sięgającą prawie 5%.

Wyniki badań składu fazowego pyłu z bypassa, przedstawione na rysunku 1, wskazują, że głównymi składnikami fazowymi pyłu są: węglan wapnia (CaCO_3), kwarc (SiO_2), sylwin (KCl) i belit (Ca_2SiO_4). Jest to zgodne z wynikami badań [4, 9, 19]. Stwierdzono również występowanie refleksów od wolnego wapna (CaO), co potwierdza dużą zawartość tego składnika w pyłe (tabela 1).

2.2. Metodyka badawcza

Badania przeprowadzono na czterech spoiwach cementowych o składzie podamy w tabeli 2. Jako cement kontrolny (symbol C0) zastosowano przemysłowy cement portlandzki CEM I 42,5R. Natomiast spoiwa cementowe C1-C3 otrzymano przez wspólne wymieszanie cementu portlandzkiego i pyłu z instalacji bypassa pieca cementowego w ilości 0,5, 1 i 5% masy spoiwa.

Table 2. Cement mix composition (wt%) used in the experiment

Tabela 2. Skład spoiw cementowych (mas%) do badań

Analizowano wpływ pyłu z bypassa na właściwości spoiwa cementowego, takie jak konsystencja normowa, początek czasu wiązania, stałość objętości i wytrzymałość na ściskanie. Wykonano również obserwacje mikrostruktury zaprawy cementowej z wykorzystaniem analizy SEM/EDS.

Badania konsystencji normowej i początku czasu wiązania przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 196-3:2016 „Metoda badania cementu – Część 3: Oznaczanie czasów wiązania i stałości objętości”. Przygotowano zaczyny cementowe, mieszając 500 g cementu z ustaloną wstępnie ilością wody. Zaczyny cementowe wykazały konsystencję normową, gdy bolec aparatu Vicata zanurzył się w zaczynach na głębokość 6 ± 2 mm od płytki szklanej, na której umieszczony był w aparacie pierścień z zaczynem. Następnie zaczyny o konsystencji normowej podda-

preparation of cement paste to moment, in which the needle was dipped in the paste to a depth of 6 ± 3 mm from the surface of the glass plate. The result was given rounded up to 5 minutes.

The soundness of cement pastes was determined using Le Chatelier moulds according to mentioned standard PN-EN 196-3:2016. The cement paste of standard consistency were prepared and placed in Le Chatelier mould. The mould was kept for 24 hours at temperature of 25°C under full humidity condition, and the distance between the end of the needles was measured. Next, the mould was heated to temperature of 100°C and maintained at boiling temperature during 3 hours and 5 minutes. After boiling the distance between the end of the needles was again measured. The result was given rounded up to 0.5 minutes.

The compressive strength of cement mortars (standard sand:cement:water in proportion 3:1:0.5) was determined in accordance with standard PN-EN 196-1:2016 "Method of testing cement – Part 1: Determination strength". The measurements were carried out on a set of three standard specimens size of $40 \times 40 \times 160$ mm. The moulds with fresh mortar were stored for 24 hours in a moist atmosphere. After demoulding the specimens were stored in water. At 2, 28 and 90 days of curing the specimens were removed from the water and subjected to compressive strength tests. The result was given rounded up to 0.01 MPa.

The strength measurements were additionally performed for the same cement mortars, but treated in autoclave. The specimens of cement mortar of $40 \times 40 \times 160$ mm size were prepared. The specimens were kept in a moist atmosphere, and next they were demoulded and stored in autoclave at temperature of 180°C and pressure of 2 MPa. The autoclave was turned off after 12 hours and the specimens were cooled in an autoclave to about 100°C . Next the specimens were removed from autoclave and cooled 10 minutes with water to approximately 25°C . The research of compressive strength are performed after 28 and 90 days. The result was given rounded up to 0.01 MPa.

The analysis of the microstructure was made on the basis of images obtained from scanning electron microscope (SEM) – FEI Nova NanoSEM 200. The tests were carried out on specimens being pieces of mortar sample after strength test. Samples were sprayed with carbon to ensure sample conductivity. The EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)

no próbom penetracji igłą Vicata, mierząc od zarobienia cementu czas, po którym igła zanurzyła się w zaczynach na głębokość 6 ± 3 mm od powierzchni płytki szklanej (wynik podano w zaokrągleniu do 5 minut).

Oznaczenie stałości objętości przeprowadzono za pomocą pierścieni Le Chateliera, zgodnie ze wspomnianą normą PN-EN 196-3:2016. Przygotowano zaczyny cementowe o konsystencji normowej, które umieszczano w pierścieniu Le-Chateliera. Pierścień przetrzymywano przez 24 godziny w temperaturze 25°C w warunkach pełnej wilgotności, po czym zmierzono odległość pomiędzy igłami pierścienia. Następnie pierścień ogrzewano do temperatury 100°C , przetrzymując w temperaturze wrzenia przez 3 godziny i 5 minut. Po gotowaniu ponownie zmierzono odległość pomiędzy końcami igieł. Odległość igieł podano z dokładnością do 0,5 mm.

Wytrzymałość na ściskanie zapraw cementowych (piasek normowy:cement:woda w proporcji 3:1:0,5) oznaczono według normy PN-EN 196-1:2016 „Metody badania cementu – Część 1: Oznaczanie wytrzymałości”. Pomiary były wykonane na trzech beleczkach o wymiarach $40 \times 40 \times 160$ mm. Formy ze świeżą zaprawą przechowywano przez 24 godziny w warunkach wilgotnych. Po rozformowaniu beleczki umieszczono w wodzie. Po 2, 28 i 90 dniach dojrzewania beleczki wyjęto z wody i poddano badaniom wytrzymałości na ściskanie. Wynik badania podano w zaokrągleniu do 0,01 MPa.

Pomiary wytrzymałości na ściskanie wykonano dodatkowo dla zapraw cementowych poddanych autoklawizacji. Przygotowano beleczki zapraw o wymiarach $40 \times 40 \times 160$ mm, które po 24 godzinach przechowywania w warunkach wilgotnych rozformowano i przechowywano w autoklawie parowym – zastosowano nasyconą parę wodną o temperaturze 180°C i ciśnieniu 2 MPa. Po 12 godzinach autoklaw wyłączono i próbki chłodziły się w autoklawie do temperatury około 100°C . Potem próbki wyjęto i schłodzono wodą do temperatury około 25°C . Badania wytrzymałości na ściskanie przeprowadzono po 2 i 28 dniach. Wyniki badań wytrzymałości podano w zaokrągleniu do 0,01 MPa.

Analizę mikrostruktury wykonano na podstawie obrazów uzyskanych ze skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) – FEI Nova NanoSEM 200. Badania przeprowadzono na preparatach będących kawałkami próbki zaprawy po badaniu wytrzymałości. Próbki napyłono węglem w celu zapewnienia przewodzenia próbki. Wykonano mikroanalizę rentgenowską EDS (Energy Dispersive X-ray Spectro-

microanalysis was made to identify chemical elements in microareas. The aim of these studies was the analysis the type and morphology of hydrates in cement mortars curing under normal and autoclave conditions.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Standard consistency and initial setting time

The results of standard consistency (expressed as water demand and w/c ratio) and initial setting time of cement pastes – control (sample C0) and with addition of cement bypass dust (samples C1-C3) – are shown in Table 3.

Cement sample	Standard consistency		Initial setting time (min)
	Water demand (g)	w/c (%)	
C0	140.7	28.1	195
C1	146.3	29.3	190
C2	149.1	29.8	180
C3	152.9	30.6	175

The introduction of bypass dust into the cement causes the increase in the water required to obtain cement paste of standard consistency (Table 3), which is consistent with the research results in papers [17, 18, 27, 28]. The required water demand is increased by 4% for binder C1. The higher content of dust in the binder, the higher water demand – the increase in water is 6% for binder C2 and almost 9% for binder C3. It is probably caused by increase in specific surface area of cement binder due to incorporation of bypass dust which, as it is showed in Table 1, is characterized by very high Blaine's surface area of 8450 cm²/g. An important parameter is also the high loss on ignition of bypass dust, which is about 82% higher than that for Portland cement. This results in an additional increase in the amount of water required to achieve the binder of standard consistency due to the presence of a large amount of porous grains of unburned carbon with a large specific surface area.

As it is shown in Table 3, the initial setting time of paste C0 (control cement paste) is 195 minutes. The introduction of bypass dust into the cement shortens the initial setting time of cement paste. The paste C1 begins to set by 5 minutes earlier than sample C0. The increase in the content of dust in the binder causes a further shortening of initial setting time, which is consistent with the results in papers [8, 18, 29]. The paste C2 begins to set after 180 minutes, that is by 15 minutes earlier than paste C0. The paste C3 begins to

scopy), która pozwoliła na identyfikację pierwiastków chemicznych w mikroobszarach. Celem tych badań była analiza rodzaju i morfologii hydratów w próbkach zapraw dojrzewających w warunkach normalnych i autoklawizacji.

3. WYNIKI I DYSKUSJA

3.1. Konsystencja normowa i początek czasu wiązania

Wyniki oznaczeń konsystencji normowej (ilość wymaganej wody, stosunek w/c) oraz początku czasu wiązania zaczynów cementowych – kontrolnego (próbka C0) i z dodatkiem pyłu z bypassa (próbki C1-C3) – zestawiono w tabeli 3.

Table 3. The standard consistency and initial setting time of cement pastes

Tabela 3. Konsystencja normowa i początek czasu wiązania zaczynów cementowych

Wprowadzenie pyłu z bypassa powoduje zwiększenie ilości wody potrzebnej do otrzymania zaczynu o konsystencji normowej (tabela 3), co jest zgodne z wynikami badań publikowanymi w pracach [17, 18, 27, 28]. Właściwa ilość wody wzrasta o 4% dla spoiwa C1. Im większy udział pyłu w spoiwie, tym większe zapotrzebowanie na wodę – wzrost ilości wody wynosi 6% dla spoiwa C2 i prawie 9% dla spoiwa C3. Jest to prawdopodobnie spowodowane wzrostem powierzchni właściwej spoiwa wskutek wprowadzenia do jego składu pyłu, który, jak przedstawiono w tabeli 1, charakteryzuje się wysoką powierzchnią Blaine'a, na poziomie 8450 cm²/g. Istotnym parametrem są również wysokie straty prażenia pyłu z bypassa, które są o około 82% wyższe niż dla cementu portlandzkiego. Powoduje to dodatkowy wzrost ilości wody wymaganej do osiągnięcia konsystencji normowej spoiwa z powodu obecności dużej ilości porowatych ziaren niespalonego węgla o dużej powierzchni właściwej.

Jak pokazano w Tabeli 3, początek czasu wiązania zaczynu C0 wynosi 195 minuty. Wprowadzenie pyłu z bypassa powoduje skrócenie początku czasu wiązania zaczynu cementowego. Zaczyn C1 zaczyna wiązać o 5 minut wcześniej niż próbka C0. Wzrost udziału pyłu w spoiwie powoduje dalsze skrócenie początku czasu wiązania. Podobne wyniki uzyskano w pracach [8, 18, 29]. Zaczyn C2 zaczyna wiązać po 180 minutach, czyli o 15 minut wcześniej niż zaczyn C0. Natomiast zaczyn C3 zaczyna wiązać już po 175

set after 175 minutes, about 20 minutes earlier than control cement paste. This fact can be explained by the high content of alkalis in bypass cement binders, which in turn may activate hydration of cement fraction (mainly alite – C_3S) [17, 30].

3.2. Soundness

The soundness results of cement pastes by method Le Chatelier are presented in Table 4.

The introduction of bypass dust into the cement

Cement sample	Soundness (mm)
C0	2
C1	3
C2	5
C3	6

causes greater volume changes of cement paste, measured as distance between the end of the needles of Le Chatelier mould before and after cooking of cement paste. The greater volume changes of pastes C1-C3 should be explained by the higher content of free lime (CaO) in these cement pastes due to incorporation of bypass dust to binders C1-C3. The content of free CaO in bypass dust is 7-times higher than that in Portland cement (Table 1). The molar volume of CaO and $Ca(OH)_2$ is respectively 16.76 and 33.06 cm^3/mol .

The higher concentration of bypass dust in cement binder, the greater expansion of needles of Le Chatelier mould. For paste C3, the volume change is 6 mm (Table 4). Taking into account the content of free lime in Portland cement and bypass dust (Table 1), the calculated amount of free CaO in paste C3 is 0.41%.

The results show that all analysed binders containing bypass dust in amount up to 5% by mass of binder keep volume stability according to requirements of standard PN-EN 197-1:2012. The Le Chatelier test does not exceed allowed value of 10 mm. This is confirmed with research results [11].

3.3. Compressive strength under normal water curing

The results of compressive strength of cement mortars are presented in Table 5. The cement bypass dust negative influences on the strength of cement mortars. The strengths of mortars C1-C3 is lower than

minutach, o 20 minut wcześniej niż zaczyn kontrolny. Fakt ten można wytłumaczyć wysoką zawartością alkaliów w spoiwach zawierających pył z bypassa, co z kolei może aktywować proces hydratacji cementu (głównie alitu – C_3S) [17, 30].

3.2. Stałość objętości

Wyniki badań stałości objętości zaczynów cementowych, według metody Le-Chateliera, przedstawiono w tabeli 4.

Table 4. The soundness of cement pastes (Le-Chatelier method)

Tabela 4. Stałość objętości zaczynów cementowych (metoda Le-Chateliera)

Dodatek pyłu z bypassa powoduje większe zmiany objętościowe zaczynu cementowego, mierzone jako odległość pomiędzy końcami igieł pierścienia Le-Chateliera przed i po gotowaniu zaczynu. Większe zmiany objętościowe zaczynów C1-C3 należy tłumaczyć większą zawartością wolnego wapna (CaO) w tych zaczynach wskutek obecności pyłu z bypassa w składzie spoiw C1-C3. Udział wolnego CaO w pyłe bypass jest 7-krotnie większy niż w cemencie portlandzkim (Tabela 1). Objętość molowa CaO wynosi 16,76 cm^3/mol , natomiast objętość molowa $Ca(OH)_2$ – 33,06 cm^3/mol .

Im większy udział pyłu z bypassa w spoiwie, tym większa rozszerzalność igieł pierścienia Le-Chateliera. W przypadku zaczynu C3 zmiana objętości wynosi 6 mm (tabela 4). Biorąc pod uwagę zawartość wolnego CaO w cemencie portlandzkim i pyłe (tabela 1), obliczona zawartość wolnego CaO w zaczynie C3 wynosi 0,41%.

Wyniki badań wskazują, że wszystkie analizowane spoiwa zawierające pył z bypass w ilości do 5% zachowują stałość objętości zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 197-1:2012 „Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku”. Próba Le Chateliera nie przekracza dopuszczalnych 10 mm. Jest to zgodne z wynikami badań [11].

3.3. Wytrzymałość na ściskanie w normalnych warunkach dojrzewania

Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie zapraw cementowych przedstawiono w tabeli 5. Pył z bypassa wpływa negatywnie na wytrzymałość zapraw

that of mortar C0 after each analyzed period. This is due to lower fraction of Portland cement in all bypass cement binder (so-called “dissolution effect”), that is, the component, which is responsible for hydration process.

Cement sample	Compressive strength (MPa) after:		
	2 days	28 days	90 days
C0	30.91±0.11	54.32±0.09	56.26±0.06
C1	30.14±0.18	53.77±0.26	55.98±0.13
C2	29.72±0.23	53.19±0.14	54.33±0.15
C3	32.62±0.26	52.69±0.21	50.02±0.08

The decrease in compressive strength of mortars C1-C3 may be also caused by higher content of free CaO in binder C1-C3 due to introduction of bypass dust, which represents the high concentration of free CaO (Table 1). Taking into account the content of bypass dust (Table 2), the calculated amount of free CaO in samples C1, C2 and C3 is respectively 0.01%, 0.09% and 0.41%. Although the free lime rapidly hydrates, the Ca(OH)_2 exhibits lower strength, which negatively affects the mechanical properties of the final product.

The cement binder containing bypass dust requires greater more water to obtain cement paste of standard consistency, which in results may lead to increase in microporosity of cement paste, especially the increase in content of capillary pores and macropores in microstructure [18]. In turn, the increase in microporosity adversely affects the strength properties of the mortar (less resistance to the compressive forces).

According to Table 5, after 2 days the compressive strength of all cement binders exceed 20 MPa. For mortar C1 and C2, the decrease in mortar strength is respectively only 2% and 4% as compared to that of control mortar C0. In the case of mortar C3, the increase in strength is observed and the difference is about 6% comparing to sample C0.

This increase in early strength of mortar C3 may be due to higher content of alkalis in binder C3, which may activate hydration process of cement by forming an additional amount of C-S-H in the hydrating system [31]. However, it should be remembered that the total content of alkalis in the cement binder with bypass dust should not exceed 0.6%, when the aggregate rich in reactive silica is used. Taking into account the concentration of bypass dust (Table 2), the amount

cementowych. Wytrzymałość zapraw C1-C3 jest mniejsza niż zaprawy kontrolnej C0 po każdym okresie badań. Jest to spowodowane mniejszym udziałem cementu portlandzkiego w tych spoiwach (tzw. „efekt rozcieńczenia”), a więc składnika, który odpowiada za szybkość procesu hydratacji.

Table 5. The compressive strength of cement mortars hardened at normal conditions (water – 25°C)

Tabela 5. Wytrzymałość na ściskanie zapraw cementowych twardejących w warunkach normalnych (woda – 25°C)

Spadek wytrzymałości na ściskanie zapraw C1-C3 może być również spowodowany wysokim udziałem wolnego CaO w spoiwach C1-C3 na skutek wprowadzenia do składu cementu pyłu z bypassa, który wykazuje wysoką zawartość wolnego CaO (tabela 1). Biorąc pod uwagę ilość wprowadzonego dodatku (tabela 2), obliczona wartość niezwiązanego CaO w próbkach C1, C2 i C3 wynosi odpowiednio 0,01%, 0,09% i 0,41%. Choć wolne wapno ulega gwałtownej hydratacji, to jednak Ca(OH)_2 wykazuje mniejszą wytrzymałość, co negatywnie wpływa na właściwości mechaniczne produktu finalnego.

Spoivo cementowe zawierające pył z bypassa w składzie wymaga większej ilości wody, aby otrzymać zaczyn cementowy o konsystencji normowej, co w rezultacie może prowadzić do wzrostu mikroporowatości zaczynu, zwłaszcza wzrostu zawartości porów kapilarnych i makroporów w mikrostrukturze [18]. Z kolei wzrost mikroporowatości wpływa niekorzystnie na cechy wytrzymałościowe zaprawy (mniejszy opór jaki siłom ściskającym stawia materiał).

Jak przedstawiono w tabeli 5, po dwóch dniach wytrzymałość na ściskanie wszystkich zapraw cementowych przekracza 20 MPa. W przypadku zapraw C1 i C2, spadek wytrzymałości wynosi odpowiednio tylko 2% i 4% w stosunku do wytrzymałości zaprawy kontrolnej C0. Z kolei w przypadku zaprawy C3 obserwuje się wzrost wytrzymałości, a różnica wynosi około 6% w porównaniu z zaprawą C0. Wzrost wytrzymałości wczesnej zaprawy C3 może być wynikiem dużego udziału alkaliów w spoiwie C3, które mogą aktywować proces hydratacji cementu z utworzeniem dodatkowej ilości C-S-H w hydratyzującym układzie [31]. Należy jednak pamiętać, że całkowita zawartość alkaliów w cemencie z dodatkiem pyłu z bypassa nie powinna przekraczać 0,6% w przypad-

of K_2O and Na_2O in binder C3 is respectively 1.36 and 0.16%, which gives total alkalis content of 1.06% Na_2O_e .

It is clear that with curing time the compressive strength of all cement mortars is increased as a consequence of hydration process proceeding. After 28 days, the decrease in compressive strength of mortars C1 and C2 is comparable and the difference in comparison to strength of mortar C0 do not exceed 2% (Table 5). For mortar C3, the decrease in strength is raised to 7%. The significant decrease in strength of mortar C3 may be due to a significant change in volume of this mortar, and the factor influencing the change in volume is the hydration of free CaO. After 90 days, the strength of mortars C0, C1 and C2 is in the range of 54-56 MPa, whereas the strength of mortar C3 is only about 50 MPa with difference of 11% in comparison to mortar C0 (Table 5).

The results in Table 5 show that the incorporation up to 1% cement bypass dust to the cement can obtain cement of strength class 42.5R according to PN-EN 197-1:2012, equal to reference cement (CEM I 42.5R) used in the experiment. For addition of 5% bypass dust, the cement of strength class 32.5R is obtained.

3.4. Compressive strength of autoclaved cement mortars

In this studies, the control cement binder (sample C0) and cement binder containing the highest amount of bypass dust (sample C3 – 5% of bypass dust) were used. The autoclaving process were performed in temperature of 180°C and pressure of 2 MPa for 12 hours. After autoclaving the mortar were stored in the water until to compressive strength test. The results are presented in Table 6.

Cement sample	Compressive strength (MPa) after:	
	2 days	28 days
C0	50.05±0.16	64.85±0.21
C3	55.60±0.18	69.85±0.09

After 2 days, the compressive strength of all autoclaved cement mortars exceeds 50 MPa. In the case of mortar C3, the increase in strength is 11% in respect to control mortar C0. Compared to normal curing conditions, the increase in 2-day compressive strength of autoclaved mortar C0 is 62%. For mortar C3, the autoclaving process provides greater increase in compressive strength, up to 55.60 MPa, and the difference is 87% in relation to normal conditions.

ku, gdy stosowane jest kruszywo bogate w reaktywną krzemionkę. Biorąc pod uwagę udział pyłu z bypassa (tabela 2), udział tlenków K_2O i Na_2O w spoiwie C3 wynosi odpowiednio 1,36% i 0,16%, co daje łączną zawartość alkaliów wynoszącą 1,06% Na_2O_e .

Jest oczywiste, że wraz z upływem czasu wytrzymałość na ściskanie wszystkich badanych zapraw cementowych wzrasta w wyniku postępującego procesu hydratacji. Po 28 dniach spadek wytrzymałości na ściskanie zapraw C1 i C2 jest porównywalny i nie przekracza 2% w stosunku do zaprawy C0 (tabela 5). Natomiast w przypadku zaprawy C3, różnica wytrzymałości wzrasta do 7%. Znaczny spadek wytrzymałości zaprawy C3 jest efektem znacznej zmiany objętości, a czynnikiem wpływającym na zmiany objętości jest hydratacja wolnego CaO. Po 90 dniach, wytrzymałość zapraw C0, C1 i C2 mieści się w zakresie 54-56 MPa, podczas gdy wytrzymałość zaprawy C3 wynosi tylko 50 MPa, co daje spadek o 11% w stosunku do zaprawy C0 (tabela 5).

Wyniki przedstawione w Tabeli 5 wskazują, że wprowadzenie do składu cementu pyłu z bypassa w ilości do 1% pozwala uzyskać cement klasy 42,5R zgodnie z normą PN-EN 197-1:2012, a więc takiej samej klasy jak cement kontrolny (CEM I 42,5R) zastosowany w badaniach. Przy dodatku 5% pyłu z bypassa można uzyskać cement o klasie wytrzymałości 32,5R.

3.4. Wytrzymałość na ściskanie w warunkach autoklawizacji

W badaniach wykorzystano spoiwo kontrolne (próbka C0) i spoiwo zawierające w składzie najwięcej pyłu z bypassa (próbka C3 – 5% pyłu). Wyniki badań wytrzymałości po 2 i 28 dniach zestawiono w tabeli 6.

Table 6. The compressive strength of autoclaved cement mortars (2 MPa – 180°C) after 2 and 28 days of hardening
Tabela. 6. Wytrzymałość na ściskanie autoklawizowanych zapraw cementowych (2 MPa – 180°C) po 2 i 28 dniach twardnienia

Po dwóch dniach wytrzymałość na ściskanie zapraw cementowych poddanych procesowi autoklawizacji przekracza 50 MPa. W przypadku zaprawy C3 obserwuje się wzrost wytrzymałości o 11% w stosunku do zaprawy kontrolnej C0. W porównaniu do normalnych warunków dojrzewania, wzrost wytrzymałości dwudniowej autoklawizowanej zaprawy C0 wynosi 62%. W przypadku próbki C3 proces autoklawizacji zapewnia większy wzrost wytrzymałości

After 28 days, the increase in compressive strength of autoclaved mortar C0 is 19% as compared to the same mortar, but cured under normal conditions. In the case of autoclaved mortar C3, the difference in strength gain is 32% (compressive strength is increased to 69.85 MPa). The higher increase in compressive strength of autoclaved mortar C3 may be caused by the formation of large amounts of hydrated calcium silicates with a higher degree of crystallization, such as tobermorite.

The autoclaving increases the compressive strength of cement mortar, and the presence of bypass dust has a positive effect on the mortar strength compared to Portland cement mortar. This means that the bypass dust can be used as a raw material for the production of autoclaved aerated concrete.

3.5. Microstructure of standard and autoclaved cement mortars

The possibility of use of cement bypass dust for production of aerated autoclaved concrete (AAC) was analysed in paper [32]. The authors [32] showed that main hydration products in ACC are: poorly crystallized C-S-H gel and highly crystalline 11 Å tobermorite (autoclaving process at temperature of 100°C). It was also confirmed by research results [33-36]. In turn, the studies [34] showed that anhydrite, hydrogranates and small amounts of minerals such as quartz and calcite may be formed in AAC with addition of CBPD.

The compressive strength of AAC is increased, when much more crystalline forms such as C-S-H, tobermorite and hydrogarnets (well crystallized and stable crystalline structure) are observed [35, 36].

The paper presents only the results of the SEM/EDS analysis of the microstructure of hardened mortar C3, which contains the most bypass, at the level of 5% by mass of binder.

The microstructure images of mortar C3 cured in normal conditions are showed in Figures 2 and 3. The microstructure images of autoclaved mortar C3 after 28 days are given in Figures 4 and 5.

na ściskanie, do poziomu 55,60 MPa, a więc o 87% większy niż w warunkach normalnych.

Po 28 dniach wzrost wytrzymałości na ściskanie autoklawizowanej zaprawy C0 wynosi 19% w stosunku do wytrzymałości zaprawy dojrzewającej w warunkach normalnych. Natomiast w przypadku autoklawizowanej zaprawy C3 różnica w przyroście wytrzymałości wynosi 32% (wytrzymałość na ściskanie wzrasta do poziomu 69,85 MPa). Większy przyrost wytrzymałości na ściskanie zaprawy C3 po autoklawizacji może być spowodowany tworzeniem się dużych ilości uwodnionych krzemianów wapnia o wyższym stopniu wykrystalizowania, takich jak tobermoryt.

Autoklawizacja zwiększa wytrzymałość na ściskanie zaprawy cementowej, a obecność pyłu z bypassa wpływa korzystnie na wytrzymałość zaprawy w stosunku do zaprawy z cementu portlandzkiego. Oznacza to, że pył z bypassa może być stosowany jako surowiec do produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego.

3.5. Mikrostruktura zapraw cementowych dojrzewających w warunkach normalnych oraz po procesie autoklawizacji

Możliwość wykorzystania pyłu z bypassa pieca cementowego do wytwarzania autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK) analizowano w pracy [32]. Wykazano, że głównymi produktami hydratacji ABK są: słabo wykrystalizowany żel C-S-H oraz wysokokrystaliczna odmiana tobermorytu 11 Å (autoklawizacja przy temperaturze 100°C). Potwierdziły to również wyniki badań [33-36]. Z kolei badania [34] wskazały, że w ABK z dodatkiem CBPD mogą tworzyć się również anhydryt, hydrogranaty oraz niewielkie ilości minerałów takich jak kwarc i kalcyt.

Wytrzymałość na ściskanie ABK wzrasta, gdy obserwuje się znacznie więcej form krystalicznych takich jak C-S-H, tobermoryt i hydrogranaty (dobrze wykrystalizowana i stabilna struktura **krystaliczna**) [35, 36].

W pracy zaprezentowano jedynie wyniki analizy SEM/EDS mikrostruktury stwardniałej zaprawy C3, która zawiera w składzie najwięcej pyłu z bypassa, na poziomie 5% masy spoiwa.

Zdjęcia mikrostruktury zaprawy C3 dla normalnych warunków dojrzewania zestawiono na rysunkach 2 i 3. Natomiast zdjęcia mikrostruktury autoklawizowanej zaprawy C3 po 28 dniach pokazano na rysunkach 4 i 5.

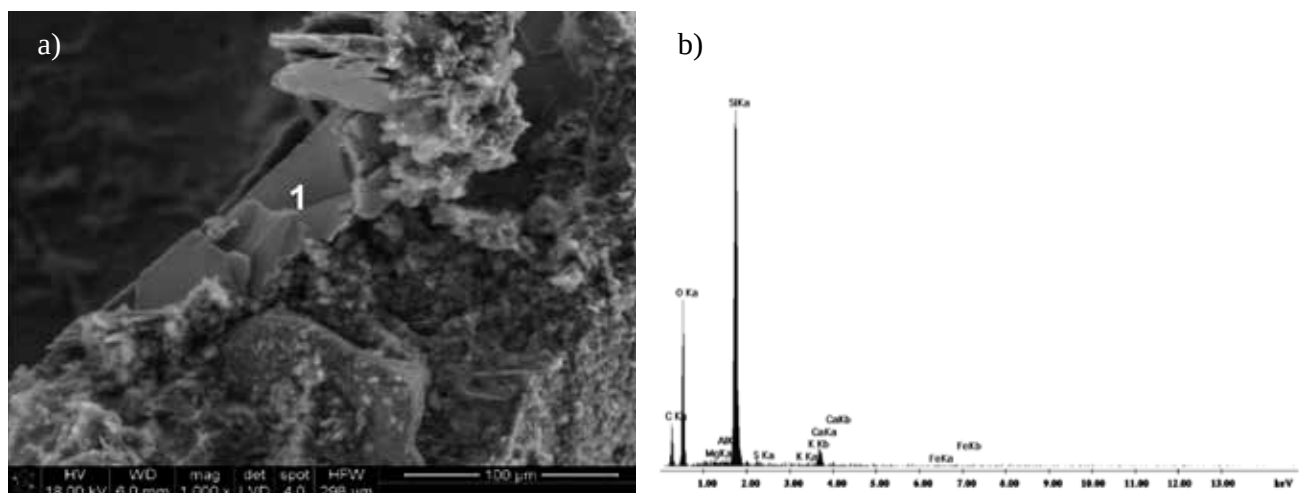


Fig. 2. The microstructure of mortar C3 after 28 days of hardening in normal condition (water) with visible Portlandite crystals (point 1): a) SEM. Modification of 10 000x; b) EDS in point 1

Rys. 2. Mikrostruktura zaprawy C3 po 28 dniach twardnienia w warunkach normalnych (woda) z widocznymi kryształami portlandytu (punkt 1): a) SEM. Powiększenie 1000x; b) EDS w punkcie 1

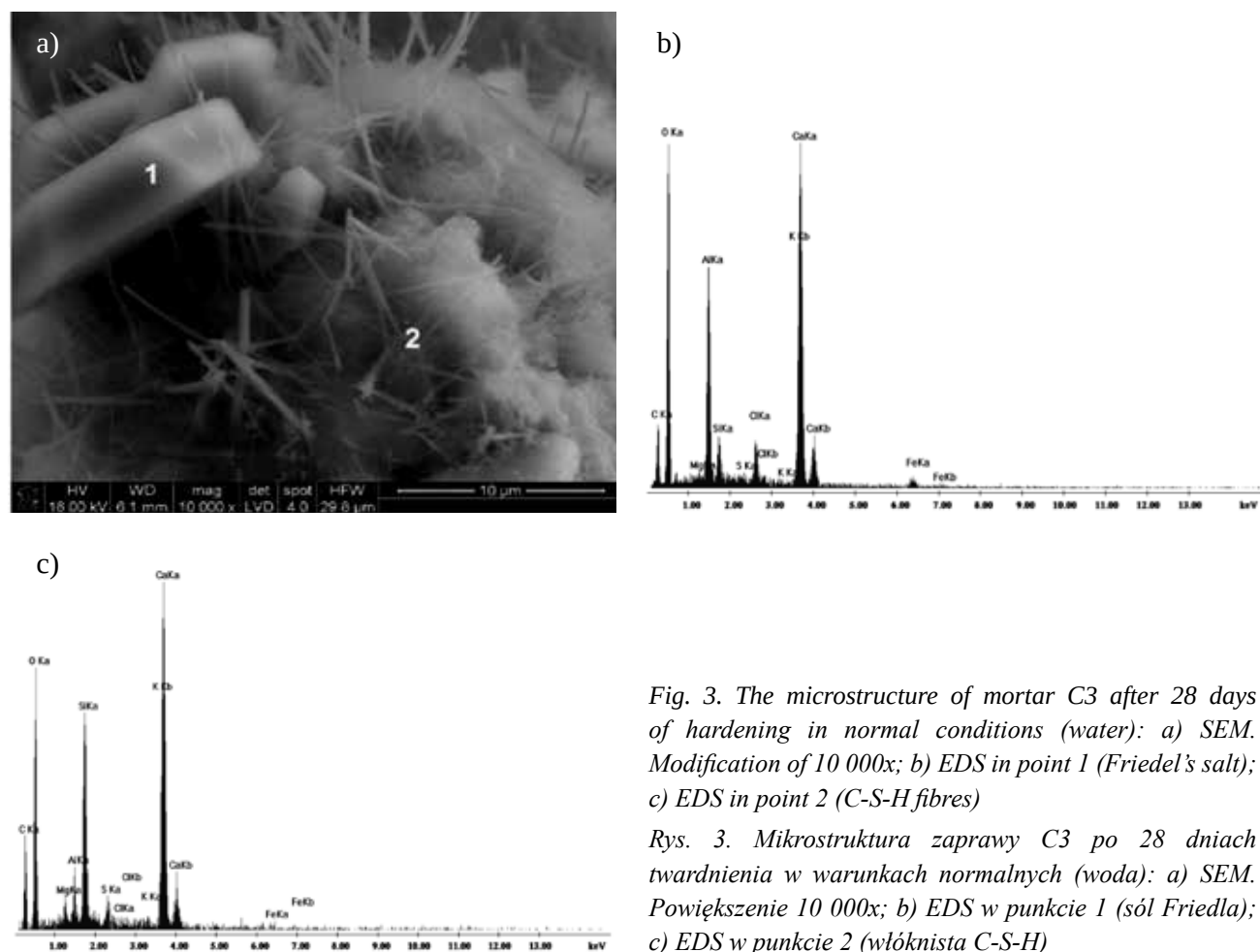


Fig. 3. The microstructure of mortar C3 after 28 days of hardening in normal conditions (water): a) SEM. Modification of 10 000x; b) EDS in point 1 (Friedel's salt); c) EDS in point 2 (C-S-H fibres)

Rys. 3. Mikrostruktura zaprawy C3 po 28 dniach twardnienia w warunkach normalnych (woda): a) SEM. Powiększenie 10 000x; b) EDS w punkcie 1 (sól Friedla); c) EDS w punkcie 2 (włóknista C-S-H)

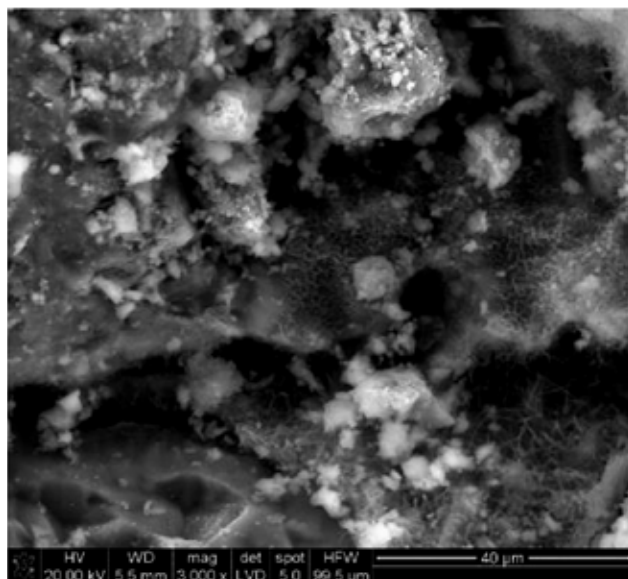


Fig. 4. The tobermorite fibres in autoclaved mortar C3 after 28 days of hardening in normal conditions (water). SEM. Modification of 3000x

Rys. 4. Włókna tobermorytu w autoklawizowanej zaprawie C3 po 28 dniach twardnienia w warunkach normalnych (woda). SEM. Powiększenie 3000x

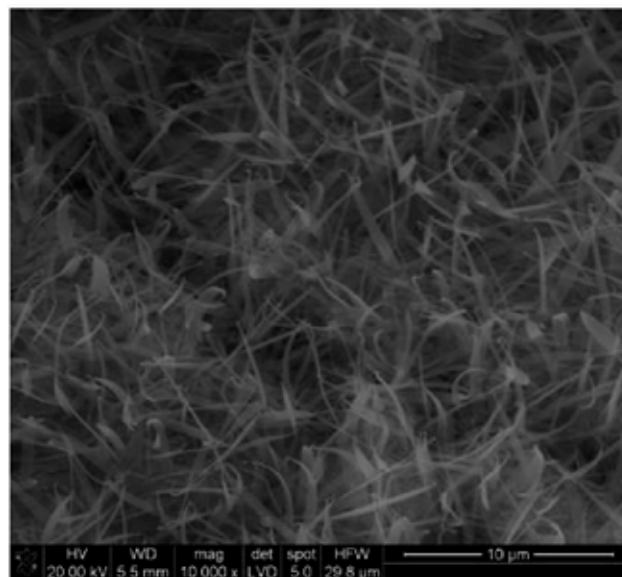
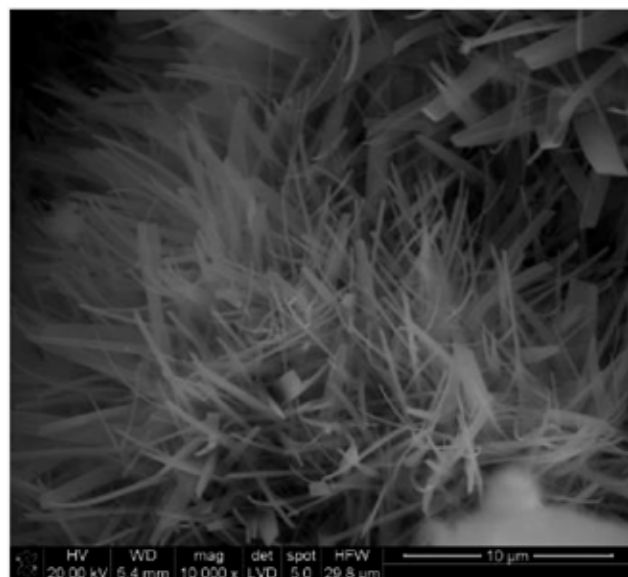


Fig. 5. The C-S-H gel phase and tobermorite fibres (right-centre part of the figure) in autoclaved mortar C3 after 28 days of hardening in normal conditions (water). SEM. Modification of 10 000x

Fig. 5. Żelowa faza C-S-H oraz włókna tobermorytu (prawa środkowa część rysunku) w autoklawizowanej zaprawie C3 po 28 dniach twardnienia w warunkach normalnych (woda). SEM. Powiększenie 10 000x

The main hydration product in mortar C3, cured in standard and autoclaved conditions is C-S-H gel. The well-formed hexagonal Portlandite crystals are also visible (point 1 in Figure 2), confirming the cement hydration progression. After 28 days, the crystals of Friedel's salt and fibrous C-S-H are determined in mortar C3 (Figure 3).

After 28 days, in the microstructure of autoclaved mortar C3 the large amounts of tobermorite (well-formed needles) are visible (Figure 4), as well as the C-S-H phase with a higher degree of crystallization

Głównym produktem hydratacji w zaprawie cementowej C3, dojrzewającej w warunkach normalnych i w autoklawie, jest żelowa faza C-S-H. Widoczne są również dobrze wykształcone heksagonalne kryształy Portlandytu (punkt 1 na rysunku 2), co potwierdza postępujący proces hydratacji spoiwa C3. Po 28 dniach w mikrostrukturze zaprawy C3 stwierdza się obecność kryształów soli Friedela, a także fazy C-S-H w formie włókien (rysunek 3).

Po 28 dniach w mikrostrukturze autoklawizowanej zaprawy C3 widoczne są duże ilości tobermorytu

(Figure 5). This confirms results presented in papers [32-36]. The fibres of tobermorite are located between grains of cements, which, as a consequence, leads to increased tightness of mortar C3 (decrease in microporosity) in comparison to control mortar C0.

The SEM/EDS results confirm that for cement binder containing up to 5% of cement bypass dust as replacement of ordinary Portland cement CEM I 42.5R in binder, it is possible to obtain tobermorite phase in specified hydrothermal conditions (in temperature of 180°C and at pressure of 2 MPa for 12 hours). Thus, the binder C3 used in the experiment may be utilized as material in production of autoclaved aerated concrete.

4. CONCLUSIONS

The application of cement bypass to the cement binder increases the water demand for standard consistency and prolongs the initial setting time of cement binder as compared to Portland cement without bypass dust. For analysed binders containing 0.5, 1 and 5% bypass dust, the amount of water required for full cement hydration is increased respectively by about 4%, 6% and 9% as compared to control cement. The higher content of dust in binder, the cement paste begins to set faster. The cement paste containing 5% bypass dust begins to set by 20 minutes earlier than control cement paste.

Despite the significant amount of free CaO in dust, the all analysed cement paste containing bypass dust, determined by Le Chatelier method, does not exceed 10 mm in accordance with requirements of standard PN-EN 197-1.

The early (2-day) compressive strength of cement mortar containing 0.5 and 1% bypass dust is comparable to that of Portland cement. The strength of these mortars is decreased only by 4% and 6%, respectively. This is due to lower fraction of Portland cement CEM I 42.5R in these binders (so-called "dissolution effect"). For cement containing 5% dust, the increase in strength is observed, and the difference is about 6% as compared to Portland cement. This is probably due to activation of cement hydration as a result of introduction of greater amount of alkalis to cement binder (the highest content of bypass dust in this binder) compared to other mortars, especially comparison to reference mortar.

After 28 days, the all cement mortars containing bypass dust represent lower compressive strength than Portland cement. This may be a consequence of the increase in the content of free CaO in cements

w postaci dobrze wykształconych igieł (rys. 4), jak również faza C-S-H o wyższym stopniu wykrystalizowania (rys. 5). Potwierdza to wyniki badań zawarte w pracach [32-36]. Włókna tobermorytu znajdują się w przestrzeni pomiędzy ziarnami cementu (rys. 5), co w efekcie prawdopodobnie prowadzi do wzrostu szczelności zaprawy C3 (spadku mikroporowatości) w porównaniu do zaprawy kontrolnej C0.

Badania SEM/EDS potwierdzają, że dla spoiwa zawierającego do 5% pyłu z bypassa jako zamiennika składnika cementowego CEM I 42,5R w spoiwie, powstaje tobermoryt przy zastosowanych parametrach autoklawizacji (temperatura 180°C i ciśnienie 2 MPa przez 12 godzin). Zatem spoiwo C3, które zastosowano w eksperymencie, może być zastosowane jako materiał w procesie produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego.

4. PODSUMOWANIE

Wprowadzenie pyłu z instalacji bypassa pieca cementowego zwiększa ilość wody wymaganej do uzyskania zaczynu cementowego o konsystencji normowej oraz wydłuża początek czasu wiązania spoiwa cementowego w stosunku do spoiwa na bazie cementu portlandzkiego bez dodatku. W przypadku badanych spoiw zawierających 0,1%, 1% i 5% pyłu z bypassa, ilość wody niezbędnej do pełnej hydratacji spoiwa wzrasta odpowiednio o około 4, 6 i 9% w stosunku do cementu kontrolnego. Im większy udział pyłu w mieszance, tym zaczyn cementowy zaczyna szybciej wiązać. Zaczyn cementowy zawierający 5% pyłu z bypassa zaczyna wiązać o 20 minut wcześniej niż zaczyn z cementu kontrolnego.

Mimo znacznej zawartości wolnego CaO w pyłe, rozszerzalność liniowa wszystkich badanych zaczynów z dodatkiem pyłu z bypassu, mierzona metodą Le Chateliera, nie przekracza 10 mm zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 197-1.

Wczesna (dwudniowa) wytrzymałość na ściskanie zaprawy cementowej zawierającej 0,5 i 1% pyłu z bypassa jest porównywalna z wytrzymałością zaprawy z cementu portlandzkiego. Wytrzymałość tych zapraw maleje odpowiednio tylko o 4% i 6%. Jest to spowodowane mniejszym udziałem cementu portlandzkiego CEM I 42,5R w tych spoiwach (tzw. „efekt rozcieńczenia”). Natomiast w przypadku zaprawy zawierającej 5% pyłu obserwuje się wzrost wytrzymałości, a różnica wynosi około 6% w stosunku do cementu portlandzkiego. Jest to prawdopodobnie spowodowane aktywacją procesu hydratacji spoiwa zawierającego pył z bypassa na skutek

with the addition of dust. The hydration of CaO gives significant changes in the volume of hardened cement mortar (lack of volume stability). In effect, the causing stretching stress are formed in hardened cement paste, which negatively affect the strength of material.

Taking into account the requirements of standard PN-EN 197-1, the addition of 1% bypass dust does not cause the decrease in cement strength class (cement strength class of 42.5R). The incorporation of 5% bypass dust gives cement strength class of 32.5R.

The autoclave curing improves the compressive strength gain of cement mortars. After 2 days, the strength of autoclaved cement containing 5% of bypass dust is increased to 55.60 MPa, whereas that of autoclaved Portland cement is only 50.05 MPa. After 28 days, the strength of these mortars is respectively 64.85 MPa and 69.85 MPa. The increase in strength of autoclave cement mortars can be explained by the fact that the use of hydrothermal treatment allows the formation of C-S-H of higher crystallization degree and well-formed tobermorite fibres, which in effect cement mortar can represents higher strength.

wprowadzenia wraz z pyłem większej ilości alkaliów (największy udział pyłu w tym spoiwie) w porównaniu do innych zapraw, zwłaszcza w stosunku do zaprawy kontrolnej.

Po 28 dniach wszystkie zaprawy cementowe z dodatkiem pyłu z bypassa reprezentują niższą wytrzymałość na ściskanie niż cement portlandzki. Może to być konsekwencją wzrostu udziału wolnego CaO w cementach przy dodatku pyłu. Hydratacja CaO powoduje zmiany objętości stwardniałej zaprawy cementowej (brak stałości objętości). W efekcie w stwardniałym zaczynie cementowym powstają naprężenia rozciągające, które negatywnie wpływają na wytrzymałość materiału.

Zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 197-1, dodatek 1% pyłu z bypassa nie powoduje zmiany klasy wytrzymałości cementu (cement klasy wytrzymałości 42,5R). Natomiast przy dodatku 5% pyłu można uzyskać cement klasy wytrzymałościowej 32,5R.

Próbki zapraw poddane procesowi autoklawizacji wykazują większy przyrost wytrzymałości na ściskanie. Po dwóch dniach autoklawizacji, wytrzymałość zaprawy zawierającej 5% pyłu z bypassa wzrasta do 55,60 MPa, podczas gdy wytrzymałość zaprawy z cementu portlandzkiego wynosi tylko 50,05 MPa. Po 28 dniach autoklawizacji, wytrzymałość tych zapraw wynosi odpowiednio 64,85 MPa i 69,85 MPa. Wzrost wytrzymałości na ściskanie zaprawy po autoklawizacji można tłumaczyć tym, że zastosowanie obróbki hydrotermalnej pozwala na powstanie fazy C-S-H o wyższym stopniu wykrystalizowania, a także tobermorytu w postaci dobrze wykształconych igieł, dzięki czemu zaprawa cementowa może uzyskiwać wyższą wytrzymałość [27].

REFERENCES

- [1] Al-Jabri K., Taha R., Al-Ghassani M.: *Use of copper slag and cement by-pass dust as cementitious materials*. Cement Concrete Aggregates, 24 (2002) 7–12.
- [2] Al-Jabri K.S., R.A. Taha, Al-Hashmi A., Al-Harthy A.S.: *Effect of copper slag and cement by-pass dust addition on mechanical properties of concrete*. Construction and Building Materials, 20 (2006) 322–331.
- [3] El-Didamony H., Helmy I.M., Amer A.: *Utilization of cement dust in blended cement*. Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research, 35 (1993) 304–308.
- [4] Stryczek S., Gonet A.A., Wiśniowski R., Biskup T.: *Wpływ pyłów cementowych z Cementowni Chelm na właściwości technologiczne zaczynów uszczelniających*. Wiertnictwo Nafta Gaz, 26 (2009) 677–687.
- [5] Pavia S., Regan D.: *Influence of cement kiln dust on the physical properties of calcium lime mortars*. Materials and Structures, 43 (2010) 381–391.
- [6] Adaska W.S., Taubert D.H.: *Beneficial uses of Cement Kiln Dust*, in: EEE/PCA 50th Cement Industry Technology Conference, Miami, 2008.
- [7] Todres H.A., Mishulovich A., Ahmed J.: *Cement kiln dust management: permeability*. Research and Development Bulletin RD 103T, Portland Cement Association, Skokie, 1992.
- [8] Maslehuddin M., Al-Amoudi O.S.B., Shameem M., Rehman, M.K. Ibrahim M.: *Usage of cement kiln dust in cement products – research review and preliminary investigations*. Construction and Building Materials, 22 (2008) 2369–2375.

- [9] Peethamparan S., Olek J., Lovell J.: *Influence of chemical and physical characteristics of cement kiln dusts (CKDs) on their hydration behavior and potential suitability for soil stabilization*. Cement and Concrete Research, 38 (2008) 803-815.
- [10] Siddique R.: *Utilization of cement kiln dust (CKD) in cement mortar and concrete - an overview*. Resources, Conservation and Recycling, 48 (2006) 315-338.
- [11] Khudhair M., Elharfi A.: *Formulation of the cement kiln dust (CKD) in concrete: Studies of the physical-chemical and mechanical properties*. International Journal of ChemTech Research, 9 (2016) 695-704.
- [12] Heikal M., Aiad I., I.M. Helmy: *Portland cement clinker, granulated slag and by-pass cement dust composites*. Cement and Concrete Research, 32 (2002) 1805-1812.
- [13] Mostafa H.M., Rashed E.M., Mostafa A.H.: *Utilizations of by-pass kiln dust for treatment of tanneries effluent wastewater*, in: 9th International Water Technology Conference, WTC9 2005, Sharm El-Sheikh, 2005, 133-141.
- [14] Keerthi Y., Divya Kanthi P., Tejaswi N., Shyam Chamberlin K., Satyanarayana B.: *Stabilization of clayey soil using cement kiln waste*. International Journal of Advanced Structures and Geotechnical Engineering, 2 (2013) 2319-5347.
- [15] Miller G.A., Azad S.: *Influence of soil type on stabilization with cement kiln dust*. Construction and Building Materials, 14 (2000) 89-97.
- [16] Albusoda B.S., Salem L.A.K., Salem K.: *Stabilization of dune sand by using cement kiln dust (CKD)*. Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, 2 (2012) 131-143.
- [17] Farhan S., Sharif A.: *Influence of cement kiln dust as partial replacement on some properties of ordinary and white Portland cement*. Tikrit Journal of Engineering Sciences, 18 (2011) 23-32.
- [18] Abd El-Aleem S., Abd-El M.A., Heikal M., Abd-El-Aziz M.A.: *Effect of cement kiln dust substitution on chemical and physical properties and compressive strength of Portland and slag cements*. Arabian Journal for Science and Engineering, 30 (2005) 263-273.
- [19] Duszak B., Adamski G., Foszcz T., Laska-Józefczak P.: *Badania zawartości pierwiastków i związków szkodliwych w procesie produkcji cementu w pyłach z pieców obrotowych*. Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych, 22 (2015) 263-273.
- [20] Maslehuddin M., Al-Amoudi O.S.B., Rahman M.K., Ali M.R., Barry M.S.: *Properties of cement kiln dust concrete*. Construction and Building Materials, 23 (2009) 2357-2361.
- [21] El-Didamony E., Amer A.A., Ebied E., Heikal M.: *Role of cement dust in some blended cements*. Cemento, 90 (1993) 221-230.
- [22] Bhatti M.S.: *Kiln dust cement blends evaluated*. Rock Products, 88 (1985) 47-52.
- [23] Bhatti M.S.: *Use of cement kiln dust in blended cements*. World Cement, 15 (1984) 126-134.
- [24] Bogue R.H.: *Calculation of the compounds in Portland cement*. Industrial and Engineering Chemistry Analytical Edition, 1 (1929) 192-197.
- [25] Collin R.J., Emery J.J.: *Kiln dust-fly ash systems for highway bases and subbases*, FHWA/RD-82/167, Washington, 1983.
- [26] Kunal, Siddique R., Rajor A.: *Use of cement kiln dust in cement concrete and its leachate characteristics*. Resources, Conservation and Recycling, 61 (2012) 59-68.
- [27] Walczak P.: *Wpływ autoklawizacji na proces hydratacji na przykładzie autoklawizowanego betonu komórkowego*. Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych, 30 (2017) 127-139.
- [28] Ravindrarajah R.S.: *Usage of cement kiln dust in concrete*. International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, 4 (1982) 95-102.
- [29] MarkuJ. , Dumi I., Lico E., Dilo T., Cakaj O.: *The characterization and theutilization of cement kiln dust (CKD) as partial replacement of Portland cement in mortar and concrete production*. Zastita Materijala, 53 (2012) 334-344.
- [30] Khalil K.A., Abd-El-Hameed N.M.: *Physicochemical characteristics of slag rich cement pastes incorporated by-pass cement dust*. Egyptian Journal of Chemistry, 59 (2016) 491-507.
- [31] Shoaib M.M., Balaha M.M., Abdel-Rahman A.G.: *Influence of cement kiln dust substitution on the mechanical properties of concrete*. Cement and Concrete Research, 30 (2000) 371-377.
- [32] Coleman N.J., Trice C.J., Nicholson J.W.: *11 Å tobermorite from cement bypass dust and waste container glass: a feasibility study*. International Journal of Mineral Processing, 93 (2009) 73-78.
- [33] Huang Z.M., Yuan Y.F., Chen Z.J., Wen Z.Y.: *Microstructure of autoclaved aerated concrete hydration products in different water-to-binder ratio and different autoclaved system*. Advaced Materials Research, 602-604 (2012) 1004-1009.
- [34] Cai L., Ma B., Li X., Lv Y., Liu Z., Jian S.: *Mechanical and hydration characteristics of autoclaved aerated concrete (AAC) containing iron-tailings: effect of content and fineness*. Construction and Building Materials, 128 (2016) 361-372.

- [35] Narayanan N., Ramamurthy K.: *Structure and properties of aerated concrete: a review*. Cement and Concrete Composites, 22 (2000) 321-329.
- [36] Alexanderson J.: *Relations between structure and mechanical properties of autoclaved aerated concrete*. Cement and Concrete Research, 9 (1979) 507-514.

Acknowledgments:

The work was financed by the AGH University of Science and Technology in Krakow as part of the Faculty of Materials and Materials Science and Ceramics, AGH University of Science and Technology no: 5.5.160.763

Podziękowania:

Praca była finansowana przez Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie w ramach Wydziału i Materiałoznawstwa i Ceramiki, AGH Uniwersytet Nauki i Techniki nr: 5.5.160.763



GRZEGORZ MAZUREK
Kielce University of Technology
e-mail: gmazurek@tu.kielce.pl

MAREK PSZCZOŁA¹
CEZARY SZYDŁOWSKI²
Gdańsk University of Technology
¹ e-mail: marek.pszczola@pg.edu.pl
² e-mail: cezary.szydowski@pg.edu.pl

Manuscript submitted 2018.07.27 - revised 2018.08.01,
initially accepted for publication 2018.08.20, published in March 2019

NON-LINEAR MASTIC CHARACTERISTICS BASED ON THE MODIFIED MSCR (MULTIPLE STRESS CREEP RECOVERY) TEST

NIELINIOWA CHARAKTERYSTYKA MASTYKSU NA PODSTAWIE ZMODYFIKOWANEJ METODY MSCR

DOI: 10.30540/sae-2019-002

Abstract

Mastic containing asphalt in its composition is an example of a viscoelastic material. It is an effective binder in asphalt. It consists of a filler (<0.063 mm) and asphalt mixed in the right proportions. Just like in asphalt, its response depends on the temperature level, the load and stress time. Changing the stress stiffness of the mastic affects the non-linear course of the stress-strain relationship. Modelling of the non-linear course of the mastic response for any stress history was performed using a single-integral Schapery equation. Two mastic composites made using filler to asphalt 2:1 ratio, was used in the tests. In addition, the contents of the filler, in one of the compositions, was enriched with hydrated lime in an amount of 15% in relation to the mass of the lime filler. It was found that the use of non-linear viscoelasticity model describes, in a comprehensive manner, the change in strain over time with different stress histories. In addition, hydrated lime reduced strains in the mastic compared to a composition consisting of limestone dust only.

Keywords: non-linear viscoelasticity, numerical modelling, MSCR test, mastic.

Streszczenie

Mastyks zawierający w swoim składzie asfalt jest przykładem materiału lepkosprężystego. Stanowi on efektywne lepiszcze w mieszance mineralno-asfaltowej. Składa się on z wypełniacza ($<0,063$ mm) oraz asfaltu wymieszanego w odpowiednich proporcjach. Tak samo jak w mma jego odpowiedź zależy od poziomu temperatury, czasu oddziaływania obciążenia. Zmiana sztywności mastyksu wywołana naprężeniem rzutuje na nieliniowy przebieg relacji naprężenia-odkształcenie. Modelowanie nieliniowego przebiegu reakcji mastyksu dla dowolnej historii naprężenia zostało wykonane przy użyciu jednocalkowego równania Schapery'ego. W badaniach wykorzystano dwie kompozycje mastyksu sporządzonego przy proporcji wypełniacza do asfaltu wynoszącego 2:1. Ponadto skład wypełniacza został w jednej z kompozycji wzbogacony o wapno hydratyzowane w ilości 15% w stosunku do masy wypełniacza wapiennego. Stwierdzono, że zastosowanie modelu nieliniowej lepkosprężystości w sposób kompleksowy opisuje zmianę odkształcenia w czasie przy różnej historii występowania naprężna. Ponadto wapno hydratyzowane korzystnie ograniczyło deformacje w mastyksie w stosunku do kompozycji składającej się wyłącznie z mączki wapiennej.

Słowa kluczowe: non-linear viscoelasticity, numerical modelling, MSCR test, mastic.

1. INTRODUCTION

Road materials containing asphalt in their composition belong to viscoelastic materials (real bodies). In the design of new road structures, asphalt composites are treated as materials corresponding

1. WPROWADZENIE

Materiały drogowe zawierające w swoim składzie asfalt należą do materiałów lepkosprężystych (ciała rzeczywiste). W projektowaniu nowych konstrukcji nawierzchni drogowych kompozyty mineralno-as-

to the elastic physical model [1]. It is a model that maintains a linear stress-strain relationship [2]. Unfortunately, the inability to include the time causes that it does not reflect the phenomenon of relaxation or creep that takes place in any structure of a flexible road surface [3]. Therefore, its use is limited to cases in which the road structure is briefly loaded for about 0.02 s or exposed to low temperature below +13°C. The viscoelastic model is a much better tool that reflects the behaviour of bituminous road materials. The viscoelastic model allows for the time of stress interaction, however, usually in most applications it is limited to the linear viscoelasticity range (LVE) [4-6], where the $\sigma \rightarrow \varepsilon$ relationship is linear. This allows structuring curves of the leading viscoplastic functions [7]. Nevertheless, in reality the case of linear viscoelasticity is a special case of non-linear course of the $\sigma \rightarrow \varepsilon$ relationship [8], because the bituminous road materials experience momentary creep phenomena at the moment of the applied stress [9]. In addition, the range of viscoelasticity may change if the rate of stress increment is low [10]. Practice indicates that permanent strains are created in the material even in the LVE range, which suggest the non-linearity of the $\sigma \rightarrow \varepsilon$ relationship [11, 12]. Therefore, the application of the non-linear viscoelastic model is the most rational approach to the nature of bituminous road materials, including mastics. The record in the form of a single-integral relationship allows the implementation of parameters, such as time, temperature and stress to the description of the $\sigma \rightarrow \varepsilon$ relationship, which basically play the most important role in the deformability evaluation of the mastic as well as other asphalt composites. Due to the fact that the mastic is an effective binder in an asphalt, its rheological changes will significantly reflect the deformability of asphalt.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Mastic

Mastic is a mixture of asphalt and mineral filler (<0.063 mm). It is an effective binder in asphalt and determines its rheological properties [13]. The 50/70 road asphalt was used in the tests. To make a mastic, reference lime filler (LM) and mixed filler were used, produced from the combination of hydrated lime (HL) and lime filler in the proportion (HL/LM)

faltowe traktowane są jako materiały odpowiadające sprężystemu modelowi fizycznemu [1]. Jest to model który zachowuje liniową relację naprężenie-odkształcenie [2]. Niestety brak możliwości uwzględnienia czasu powoduje, że nie odwzoruje on zjawiska relaksacji ani też pełzania, które ma miejsce w każdej konstrukcji podatnej nawierzchni drogowej [3]. W związku z tym jego stosowanie jest ograniczone do przypadków w których konstrukcja nawierzchni jest obciążona przez krótki czas około 0,02 s w niskiej temperaturze poniżej +13°C. Znacznie lepszym narzędziem, które odzwierciedla zachowania bitumicznych materiałów drogowych jest model lepkosprężysty. Model lepkosprężysty uwzględnia czas oddziaływania naprężenia, jednak zwykle w większości zastosowań jest ograniczony do zakresu liniowej lepkosprężystości (LVE) [4-6], gdzie relacja $\sigma \rightarrow \varepsilon$ jest liniowa. Pozwala to na konstruowanie krzywych wiodących funkcji lepkosprężystości [7]. Niemniej jednak w rzeczywistości przypadek liniowej lepkosprężystości jest szczególnym przypadkiem nieliniowego przebiegu relacji $\sigma \rightarrow \varepsilon$ [8], gdyż bitumiczne materiały drogowe w momencie przyłożonego naprężenia doznają natychmiastowego zjawiska pełzania [9]. Ponadto zakres relacji $\sigma \rightarrow \varepsilon$ odpowiadający liniowej lepkosprężystości może ulec zmianie, jeśli szybkość przyrostu naprężenia będzie mała [10]. Praktyka wskazuje, że nawet w zakresie LVE w materiale powstają trwałe odkształcenia co sugeruje nieliniowość relacji $\sigma \rightarrow \varepsilon$ [11, 12]. W związku z tym zastosowanie nieliniowego modelu lepkosprężystości jest najbardziej racjonalnym ujęciem natury bitumicznych materiałów drogowych, w tym również mastyksu. Zapis w postaci relacji jednocalkowej pozwala na implementację do opisu relacji $\sigma \rightarrow \varepsilon$, takich parametrów jak: czas, temperatura oraz naprężenie, które zasadniczo odgrywają najistotniejszą rolę w ocenie odkształcalności mastyksu jak i innych kompozytów mineralno-asfaltowych. Z faktu, że mastyks stanowi efektywne lepiszcze w mieszance mineralno-asfaltowej, jego zmiany reologiczne będą bardzo istotnie odzwierciedlały odkształcalność mieszanek mineralno-asfaltowych.

2. MATERIAŁY I METODY

2.1. Mastyks

Mastyks jest to mieszanina asfaltu oraz wypełniacza mineralnego (<0,063 mm). Stanowi on efektywne lepiszcze w mieszance mineralno-asfaltowej i decyduje o jej właściwościach reologicznych [13]. W badaniach został wykorzystany asfalt drogowy 50/70. Do sporządzenia mastyksu wykorzystano referencyjny wypełniacz wapienny (LM) oraz wypeł-

equal to 0.15 (m/m), in accordance with the recommendation given in the work [14]. The asphalt and filler samples were heated to a temperature of 155°C and such temperature was maintained for 30 minutes. The next step was mixing asphalt and various filler compositions at a constant temperature and at 400 rpm. After mixing, the mastic samples to be tested were preconditioned at 5°C until the test. A detailed list of results set by EN 14043 are shown in Table 1.

Parameter	Standard	Uom	Component/mixture	
			LS	HL/LS
			0.3 (m/m)	
Rigden voids	EN 1097-4	%	35.12	41.13
Temperature increment of ring and ball	EN 13179-1	°C	11.08	18.51
Stone density of the filler composition	EN 1097-7	Mg/m ³	2.71	2.55

It should also be remembered to avoid excessive amount of hydrated lime to the volume of lime filler due to the intense increase of mastic stiffness and the reduction of significant workability of asphalt. According to researchers [15] the value V_{fb} (volume of concentrated filler) for dusts from the dust extraction system should be about 60% as it causes excessive stiffening of the mastic. Considering the data contained in the Leuseur's work [14] the weight ratio of the filler to asphalt should not exceed 2.5:1. Following these guidelines, it was found that the 2:1 ratio of asphalt to filler would be the most appropriate for comparison purposes, irrespective of the amount of hydrated lime in the lime filler. Assumptions of the adopted research plan are presented in Table 2.

HL/L	F/B	F/B density	$V_{mix, filler}$	V_{bit}	V_{fb}
(w/w)	(w/w)	Mg/m ³	% (v/v)	% (v/v)	%
0.00	0.00	1.03	–	–	–
0.00	2.00	1.75	43.03	56.97	66.33
0.15	2.00	1.72	43.75	56.25	71.76

niacz mieszany, który powstał w wyniku połączenia wapna hydratyzowanego (HL) oraz wypełniacza wapiennego w proporcji (HL/LM) równej 0,15 (m/m), sugerując się zaleceniami podanymi w pracy [14]. Próbkę asfaltu oraz wypełniacza zostały rozgrzane do temperatury 155°C i utrzymywane w niej przez 30 minut. Kolejnym etapem było wymieszanie asfaltu i różnych kompozycji wypełniacza w stałej temperaturze przy 400 obr/min. Po wymieszaniu przeznaczone do badania próbki mastyksu były kondycjonowane w temperaturze 5°C do czasu badania. Szczegółowe zestawienie wybranych właściwości wypełniacza zgodnie z EN 13043, przedstawiono w tabeli 1.

Table 1. Selected physical parameters of the mixed filler according to PN EN 14043

Tabela 1. Wybrane parametry fizyczne wypełniacza mieszanego wg PN EN 13043

Należy również pamiętać o unikaniu nadmiernej ilości wapna hydratyzowanego w stosunku do objętości wypełniacza wapiennego z uwagi na intensywny wzrost sztywności mastyksu oraz istotne zmniejszenie urabialności mieszanki mineralno-asfaltowej. Według badaczy [15] wartość V_{fb} (objętość zagęszczonego wypełniacza) dla pyłów z systemu odpylania powinna wynosić około 60%, ponieważ wywołuje nadmierne usztywnienie mastyksu. Biorąc pod uwagę informacje zawarte w pracy Leuseur [14], stosunek wagowy wypełniacza do asfaltu nie powinien być większy niż 2,5:1. Sugerując się tymi zaleceniami ustalono, że do celów porównawczych najbardziej odpowiednia będzie proporcja asfaltu do wypełniacza wynosząca 2:1, bez względu na ilość wapna hydratyzowanego w składzie wypełniacza wapiennego. Założenia przyjętego planu badań przedstawiono w tabeli 2.

Table 2. Experimental research plan and appropriate mastic compositions

Tabela 2. Plan badań eksperymentalnych oraz odpowiednie kompozycje mastyksu

The reference asphalt was the first composition. F/B refers to the filler/bitumen weight ratio. HL/L means the percentage of hydrated lime in the total mass of the filler.

2.2. Modified MSCR test

This test allows assessing the compliance and recovery of binder in simulated load conditions, close to real conditions in the linear and non-linear viscoelasticity range. Normally, the MSCR test is performed on the basis of PN-EN 16659: 2016-02 and AASHTO TP70. This test is performed using a rheometer equipped with a parallel plate set-up in accordance with EN 14770: 2012 in a controlled stress system. The compliance assessment of the binder is performed for shear stress of 100 kPa and 3200 Pa applied for 1 second, and then the measurement of elastic recovery of asphalt for 9 seconds, at the asphalt temperature of 60°C, is performed. The entire cycle for one stress range lasts 100 seconds. Consequently, the compliance value J_{nr} (irreversible part of the strain divided by the applied stress) and elastic recovery ER% are determined.

The standard MSCR test was modified by an extra shear stress sequence of 6400 Pa. In addition, the number of load cycles was modified. The experiment involved three load cycles for three stress levels, namely: 100Pa, 3200Pa and 6400 Pa. As a result, the entire test lasted 90 seconds. All tests were performed at 60°C. According to researchers [11], the application of the first three load cycles correctly represents the strain change over time.

3. NON-LINEAR SCHAPERY MODEL

3.1. Description of the non-linear Schapery model

The theory proposed by Schapery is one of the most commonly used methods, mainly in polymers, describing the non-linear nature of viscoelasticity. It was determined basing on thermodynamics of irreversible processes [10, 16, 17]. Performing certain transformations in relation to the constant temperature at the uniaxial state of stress induced by the independent variable σ_0 , the representation of the strain change (creep test), using the single-integral relationship, has the following formula (1):

Pierwszą kompozycję stanowił asfalt referencyjny. Oznaczenie F/B odnosi się do stosunku wagowego wypełniacz/asfalt. Oznaczenie HL/L oznacza udział procentowy wapna hydratyzowanego w całkowitej masie wypełniacza.

2.2. Zmodyfikowana metoda MSCR

Metoda MSCR pozwala ocenić podatność oraz nawrót lepiszcza w symulowanych warunkach obciążenia zbliżonych do rzeczywistych w liniowym i nieliniowym zakresie lepkości. Klasycznie badanie MSCR wykonuje się na podstawie PN-EN 16659:2016-02 oraz AASHTO TP70. Badanie to wykonuje się za pomocą reometru wyposażonego w zestaw płytka-płytką zgodnie z normą EN 14770:2012 w układzie kontrolowanego naprężenia. Ocenę podatności lepiszcza wykonuje się dla naprężenia ścinającego 100 Pa oraz 3200 Pa przykładanego przez 1 sekundę, a następnie wykonywany jest pomiar nawrotu sprężystego asfaltu przez 9 sekund w temperaturze asfaltu 60°C. Cały cykl dla jednego zakresu naprężenia wynosi 100 sekund. Wykonując niniejsze badanie według MSCR można określić podatność J_{nr} (nieodwracalna część odkształcenia podzielona przez przyłożone naprężenie) oraz nawrotu sprężystego ER%.

W niniejszym badaniu zastosowano modyfikację klasycznego badania MSCR o dodatkową sekwencję naprężenia ścinającego równego 6400 Pa. Ponadto zastosowano modyfikację liczby cykli obciążenia. W eksperymencie zastosowano trzy cykle obciążenia dla trzech poziomów naprężenia, a mianowicie: 100 Pa, 3200 Pa oraz 6400 Pa. W rezultacie całe badanie trwało 90 sekund. Wszystkie badania wykonano w temperaturze 60°C. Według badaczy [11] zastosowanie trzech pierwszych cykli obciążenia poprawnie reprezentuje relację zmiany odkształcenia w czasie.

3. NIELINIOWY MODEL SCHAPERY'EGO

3.1. Opis nieliniowego modelu Schapery'ego

Teoria zaproponowana przez Schapery'ego jest jedną z najczęściej stosowanych teorii, głównie wykorzystywana do oceny nieliniowego zachowania pewnych polimerów, opisujących nieliniowy charakter lepkości. Została ona sformułowana na podstawie zasad termodynamiki procesów nieodwracalnych [10, 16, 17]. Wykonując pewne przekształcenia względem stałej temperatury przy jednoosiowym stanie naprężenia wywołanego niezależną zmienną σ_0 reprezentacja zmiany odkształcenia (próba pełzania) za pomocą relacji jednocałkowej ma postać:

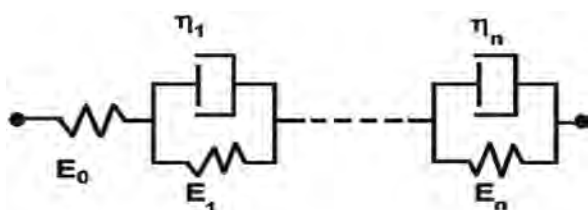
$$\gamma(t) = g_0 J_0 \sigma(t) + \sigma(t) g_1 \int_0^t \Delta J (\psi^t - \psi^\tau) \left\{ \frac{d(g_2 \sigma(\tau))}{d\tau} \right\} d\tau + \gamma_{irrec}(t) \quad (1)$$

where: J_0 – instantaneous creep compliance, ΔJ – creep compliance dependant on time, g_0, g_1, g_2 – parameters in the stress function modelling the non-linear course of the $\sigma \rightarrow \varepsilon$ relationship, $\gamma_{irrec}(t)$ – level of irreversible strains. The reduced time in formula (1) adopts the following form:

$$\psi^t = \int_0^t \frac{dt'}{a_\sigma[\sigma(t')]} \quad \text{and} \quad \psi^\tau = \int_0^\tau \frac{d\tau}{a_\sigma[\sigma(\tau)]} \quad (2)$$

Material parameters are stress-dependant g_0, g_1, g_2 parameters. They reflect the relationship of the third and fourth order of the Gibbs free energy from stress. The parameter a_σ , also depending on the stress level, is in fact a horizontal shift coefficient on the time scale [10].

The equation (1) represents the creep course in which separation follows into the part independent of time J_0 and time-dependent ΔJ . The fundamental issue is to define the sub-integral creep function. Exponentiation has the simplest form [10]. The applied function allows obtaining reliable results at the expense of lowering estimation precision within a long period of time. The function derived from the group of physical models of generalized viscoelasticities is much more beneficial. Therefore, a generalized Kelvin-Voigt model with an additional Hooke element (GK-E) was proposed. It allows for the representation of material in the range in which the part of the strain is constant and independent of time (short load time) J_0 . A graphic representation of the adopted model is shown in Figure 1.



$$\gamma(t) = g_0 J_0 \sigma(t) + \sigma(t) g_1 \int_0^t \Delta J (\psi^t - \psi^\tau) \left\{ \frac{d(g_2 \sigma(\tau))}{d\tau} \right\} d\tau + \gamma_{irrec}(t) \quad (1)$$

gdzie: J_0 – podatność pełzania natychmiastowa, ΔJ – podatność pełzania zależna od czasu, g_0, g_1, g_2 – parametry materiałowe zależne od historii przyłożonego naprężenia w czasie modelujące nieliniowy przebieg relacji $\sigma \rightarrow \varepsilon$, $\gamma_{irrec}(t)$ – poziom odkształceń nieodwracalnych. Czas zredukowany we wzorze (1) ma następującą postać:

$$\psi^t = \int_0^t \frac{dt'}{a_\sigma[\sigma(t')]} \quad \text{oraz} \quad \psi^\tau = \int_0^\tau \frac{d\tau}{a_\sigma[\sigma(\tau)]} \quad (2)$$

Zasadniczą rolą parametrów materiałowe g_0, g_1, g_2 jest odzwierciedlenie efektu nieliniowości wywołaną poziomem przyłożonego obciążenia do materiału. Odzwierciedlają one relację trzeciego i czwartego rzędu energii swobodnej Gibbisa od naprężenia. Parametr a_σ , również zależny od poziomu naprężenia, jest w istocie współczynnikiem przesunięcia poziomego na skali czasu [10], spełniający tę samą rolę co współczynnik przesunięcia temperaturowego wykorzystywany w zasadzie superpozycji czas-temperatura.

Równanie (1) reprezentuje przebieg pełzania, w którym występuje rozdzielenie na część niezależną od czasu J_0 oraz zależną od czasu ΔJ . Podstawową kwestią jest określenie podcałkowej funkcji pełzania. Najprostszą postać posiada funkcja potęgowa [10]. Jest to funkcja, która oferuje łatwą implementację i miarodajne wyniki jednak poświęca ona precyzję analiz wykonanych w szerokim spektrum czasu. Znacznie korzystniejszą jest funkcja pochodząca z grupy fizycznych modeli uogólnionych lepkości. W związku z tym zaproponowano postać uogólnionego modelu Kelvina-Voigta z dodatkowym elementem Hooke'a (GK-E). Pozwala on na reprezentację materiału w zakresie, w którym część odkształcenia jest stała i niezależna od czasu (krótki czas obciążenia) J_0 . Graficzną reprezentację przyjętego modelu przedstawiono na rysunku 1.

Fig. 1 Generalized Kelvin-Voigt model adopted with an additional Hooke element (GK-H)

Rys. 1. Przyjęty uogólniony model Kelvina-Voigta z dodatkowym elementem Hooke'a (GK-H)

Therefore, the overall form of the creep function (1) changing the integral as the sum of the Prony series elements is as follows:

$$J(\psi^t) = J_0 + \sum_{i=1}^n J_i \left[1 - e^{(-\lambda_i \psi^t)} \right] \quad (3)$$

where: J_i – i-th element of compliance representing the i-th element of the Prony series (Kelvin-Voigt element), λ_i – i-th element of the time of retardation in relation to i- compliance. Finally, the course of the non-linear strain of the Schapery model in the creep test is the following:

$$\begin{aligned} &\text{for load time} \\ \gamma_{cr}(t) &= g_0 J_0 \sigma + \\ &+ \sigma g_1 g_2 \sum_{i=1}^n J_i \left[1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t}{a_\sigma} \right)} \right] + \gamma_{irrec}(t) \\ &\text{for relief time} \\ \gamma_{re}(t) &= \sigma g_2 \sum_{i=1}^n J_i \left[1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t}{a_\sigma} \right)} \right] - \\ &\sigma g_2 \sum_{i=1}^n J_i \left[1 - e^{\left(\lambda_i \frac{t-t_a}{a_\sigma} \right)} \right] + \gamma_{irrec}(t_a) \end{aligned} \quad (4)$$

where: t_a – beginning of relief time, t – duration of the creep test cycle with relief.

3.2. Determining the parameters of the model

Parameters of the non-linear Schapery model, i.e. material g_0 , g_1 , g_2 and a_σ , determined based on the analysis of the return stage, which reflects the pure course of the elastic recovery. It should be remembered that the low-stress test, i.e. in the LVE range, should be performed as first to determine non-linear parameters. Therefore, to determine the Prony series parameters in the LVE range, a stress of 100 Pa was applied, taking into account the change in strain in the third load cycle. Total elastic strain in the relief phase $\Delta \epsilon_{re}$ for the first cycle in the LVE range determines the relationship:

$$\begin{aligned} \Delta \gamma_{re1}(t) &= \gamma_{cr}(t) - \gamma_{cr}(t) = g_0 J_0 \sigma_1 \\ &+ \sigma_1 \left\{ g_1 g_2 \sum_{i=1}^n J_i \left[1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t_a}{a_\sigma} \right)} \right] - g_2 \sum_{i=1}^n J_i \left[1 - e^{\left(\lambda_i \frac{t}{a_\sigma} \right)} \right] \right. \\ &\left. + g_2 \sum_{i=1}^n J_i \left[1 - e^{\left(\lambda_i \frac{t-t_a}{a_\sigma} \right)} \right] \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

W związku z tym postać całkowita funkcji pełzania (1) zamieniając całkę jako sumę elementów Prony series jest następująca:

$$J(\psi^t) = J_0 + \sum_{i=1}^n J_i \left[1 - e^{(-\lambda_i \psi^t)} \right] \quad (3)$$

gdzie: J_i – i-ta podatność reprezentująca i-ty element serii Prony’ego (element Kelvina-Voigta), λ_i – i-ty czas retardacji względem i-tej podatności. Ostatecznie przebieg odkształcenia nieliniowego modelu Schapery’ego w próbie pełzania z powrotem jest następujący:

$$\begin{aligned} &\text{dla czasu obciążenia} \\ \gamma_{cr}(t) &= g_0 J_0 \sigma + \\ &+ \sigma g_1 g_2 \sum_{i=1}^n J_i \left[1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t}{a_\sigma} \right)} \right] + \gamma_{irrec}(t) \\ &\text{dla czasu odciążenia} \\ \gamma_{re}(t) &= \sigma g_2 \sum_{i=1}^n J_i \left[1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t}{a_\sigma} \right)} \right] - \\ &\sigma g_2 \sum_{i=1}^n J_i \left[1 - e^{\left(\lambda_i \frac{t-t_a}{a_\sigma} \right)} \right] + \gamma_{irrec}(t_a) \end{aligned} \quad (4)$$

gdzie: t_a – początek czasu odciążenia, t – czas trwania cyklu próby pełzania z odciążeniem.

3.2. Wyznaczenie parametrów modelu

Parametry nieliniowego modelu Schapery’ego, czyli materiałowe g_0 , g_1 , g_2 oraz a_σ , wyznaczono w oparciu o analizę etapu powrotu, która odzwierciedla czysty przebieg nawrotu sprężystego. Należy pamiętać, że do wyznaczenia parametrów nieliniowych trzeba wykonać, jako pierwsze, badanie w zakresie małych naprężeń, czyli w zakresie LVE. W związku z tym do wyznaczenia parametrów Prony series w zakresie LVE zastosowano naprężenie 100 Pa, biorąc pod uwagę zmianę odkształcenia w trzecim cyklu obciążenia. Całkowite odkształcenie sprężyste w fazie odciążenia $\Delta \epsilon_{re}$ dla 1 cyklu w zakresie LVE określa zależność:

$$\begin{aligned} \Delta \gamma_{re1}(t) &= \gamma_{cr}(t) - \gamma_{cr}(t) = g_0 J_0 \sigma_1 \\ &+ \sigma_1 \left\{ g_1 g_2 \sum_{i=1}^n J_i \left[1 - e^{\left(-\lambda_i \frac{t_a}{a_\sigma} \right)} \right] - g_2 \sum_{i=1}^n J_i \left[1 - e^{\left(\lambda_i \frac{t}{a_\sigma} \right)} \right] \right. \\ &\left. + g_2 \sum_{i=1}^n J_i \left[1 - e^{\left(\lambda_i \frac{t-t_a}{a_\sigma} \right)} \right] \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

Using the relationship (5), the parameters of the Prony series in the GK-E model such as J_0 , J_n and λ_n ($n = 1, 2, 3, \dots, n$) were determined. Basing on this information, a second 3200 Pa load cycle was performed to determine non-linear parameters g_0 (3200 Pa), g_1 (3200 Pa), and g_σ (3200 Pa) in relation to the course of strain in the third load cycle. Then the strain course was recorded for the third load cycle at a constant stress of 6400 Pa. The value of non-linear parameters was also determined for this stress. Increasing the number of stress levels allows for their functional binding and allows for a later forecast of the strain course for any level of shear stress. The entire load process is shown schematically below in Figure 1:

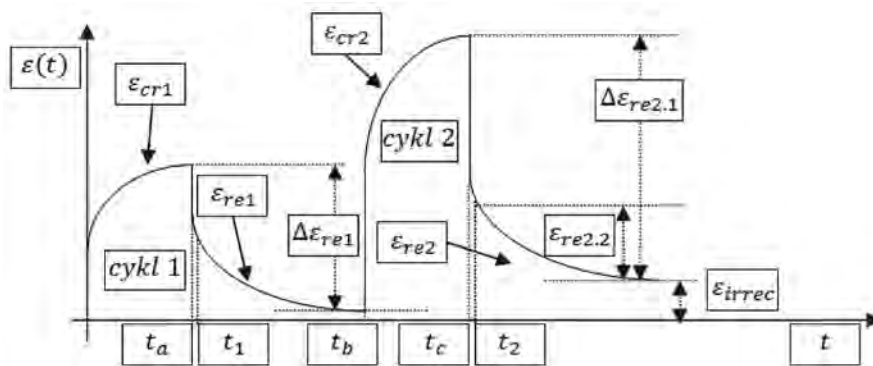


Fig. 2. Creep test with relief for two load cycles

Rys. 2. Schemat próby pełzania z odciążeniem dla dwóch cykli obciążenia

In order to determine all non-linear parameters, elastic recovery phase should be divided into two parts [12, 18]. Parameters g_2 and a_σ can be determined in the phase $\Delta\epsilon_{re2.2} = \epsilon_{re2}(t_2) - \epsilon_{re2}(t)$ while g_0 , g_1 , in the phase $\Delta\epsilon_{re2.1} = \epsilon_{re2}(t_c) - \epsilon_{re2}(t)$. Including the stress history for subsequent load cycles leads to increasingly complicated equation (5). Therefore, the entire analysis was performed using the author's macrosript entered into the Mathcad program. The work presents a similar process [12].

4. RESULTS

Using the MSCR methodology in a slightly modified form, the course of stress versus time was obtained for three stress levels. The purpose of this procedure was to find non-linear parameters of the Schapery model. Thanks to this it is possible to determine the creep process in the axial system for any stress in the

Wykorzystując zależność (5) zostały wyznaczone parametry szeregu Prony w modelu GK-E takie jak J_0 , J_n oraz λ_n ($n = 1, 2, 3, \dots, n$). W oparciu o tą informację wykonano drugi cykl obciążenia dla naprężenia 3200 Pa w celu wyznaczenia parametrów nieliniowej lepkości: g_0 (3200 Pa), g_1 (3200 Pa) oraz g_σ (3200 Pa) względem przebiegu odkształcenia w trzecim cyklu obciążenia. Następnie zarejestrowano przebieg odkształcenia dla trzeciego cyklu obciążenia przy stałym naprężeniu 6400 Pa. Dla tego naprężenia wyznaczono również wartość nieliniowych parametrów. Zwiększenie liczby poziomów naprężenia pozwala na funkcyjne ich związanie i umożliwia późniejszą prognozę przebiegu odkształcenia dla dowolnego poziomu naprężenia ścinającego. Cały proces obciążenia przedstawiono schematycznie na rysunku 2:

Aby wyznaczyć wszystkie parametry nieliniowe należy fazę nawrotu sprężystego podzielić na dwie części [12, 18]. Parametry g_2 oraz a_σ można wyznaczyć w fazie $\Delta\epsilon_{re2.2} = \epsilon_{re2}(t_2) - \epsilon_{re2}(t)$ natomiast g_0 , g_1 , w fazie $\Delta\epsilon_{re2.1} = \epsilon_{re2}(t_c) - \epsilon_{re2}(t)$. Uwzględnienie historii naprężenia dla kolejnych cykli obciążenia powoduje że równanie (5) ma coraz to bardziej skomplikowaną postać. Dlatego też całą analizę wykonano przy pomocy autorskiego makroskryptu wprowadzonego w programie Mathcad. Podobny proces postępowania można odnaleźć w pracy [12].

4. REZULTATY

Wykorzystując metodykę MSCR w postaci nieco zmodyfikowanej uzyskano przebieg naprężenia względem czasu dla trzech poziomów naprężenia. Celem takiego postępowania było znalezienie parametrów nieliniowych modelu Schapery'ego. Dzięki temu możliwe jest określenie procesu pełzania w

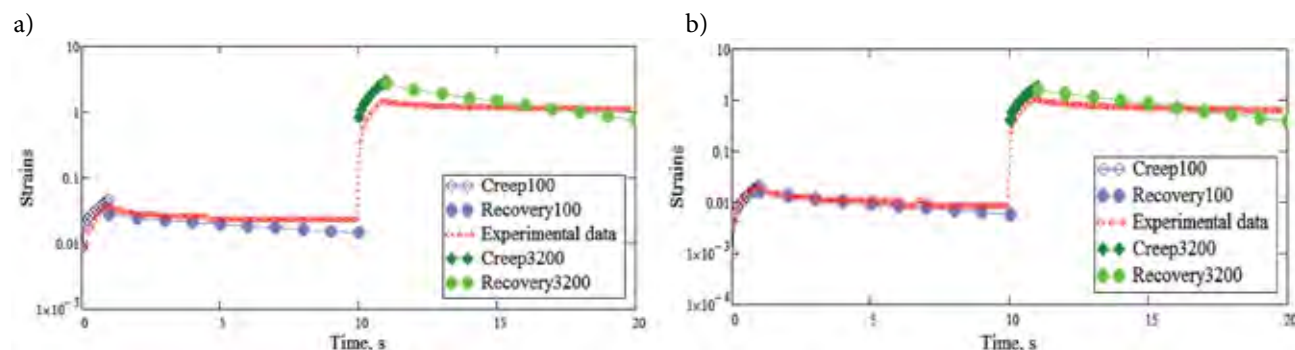


Fig. 3. Results of the model result matching to the experimental results for the composition: a) 0HL/FB2 for two load cycles (100 Pa and 3200 Pa); b) 0.15HL/FB2 for two load cycles (100 Pa and 3200 Pa)

Rys. 3. Rezultaty dopasowania wyników modelu do rezultatów eksperymentalnych dla kompozycji: a) 0HL/FB2 dla dwóch cykli obciążenia (100 Pa oraz 3200 Pa); b) 0,15HL/FB2 dla dwóch cykli obciążenia (100 Pa oraz 3200 Pa)

$0 < \tau < 6400$ Pa range. The 50/70 base asphalt was not tested at a stress of 6400 Pa due to its highly adhesive character preventing correct measurement of strain at a given rheometer measuring system. Therefore, the experimental results of the 50/70 asphalt strain were projected in relation to the model results of subsequent mastic compositions. The figure shows the results for the third load cycle (Figure 3).

Results of the model result matching to the experimental results for the case 0HL/FB2 and 0.15HL/FB2 determined on the basis of the formulas (4) and (5) are shown in Table 3.

układzie osiowym dla dowolnego naprężenia w przedziale $0 < \tau < 6400$ Pa. Asfalt bazowy 50/70 nie został poddany badaniu przy naprężeniu 6400 Pa z uwagi na jego wysoce lepki charakter uniemożliwiający poprawny pomiar odkształcenia w układzie pomiarowym reometru płytka-płytką 25 mm. Dlatego też wyniki eksperymentalne odkształcenia asfaltu 50/70 były rzutowane względem rezultatów modelowych późniejszych kompozycji mastyksu. Na rysunku 3 przedstawiono rezultaty dla trzeciego cyklu obciążenia.

Rezultaty dopasowania wyników modelowych do eksperymentalnych dla przypadków 0HL/FB2 oraz 0,15HL/FB2, określonych na podstawie wzorów (4) oraz (5), przedstawiono w tabeli 3.

Table 3. Parameters of the linear and non-linear viscoelasticity model

Tabela 3. Parametry modelu liniowej i nieliniowej lepkości

Parameters for the linear viscoelasticity (LVE) range for the creep function consistent with the GK-H model for four Prony series elements

Compliance				Retardation time	
J_0 (independent of time)		J_1 (independent of time)		λ_1	
[Pa ⁻¹]		[Pa ⁻¹]		[s ⁻¹]	
0HL/FB2	0.15HL/FB2	0HL/FB2	0.15HL/FB2	0HL/FB2	0.15HL/FB2
9.995·10 ⁻⁶	8.726·10 ⁻⁵	$J_1 = 8.726 \cdot 10^{-5}$ $J_2 = 8.726 \cdot 10^{-5}$ $J_3 = 8.726 \cdot 10^{-5}$ $J_4 = 4.767 \cdot 10^{-3}$	$J_1 = 19 \cdot 10^{-6}$ $J_2 = 22.597 \cdot 10^{-6}$ $J_3 = 442.883 \cdot 10^{-6}$ $J_4 = 1.096 \cdot 10^{-6}$	$\lambda_1 = 1 \cdot 10^{-4}$ $\lambda_2 = 1.511$ $\lambda_3 = 18.963$ $\lambda_4 = 18.693$	$\lambda_1 = 1 \cdot 10^{-9}$ $\lambda_2 = 0.1$ $\lambda_3 = 8.067$ $\lambda_4 = 10.069$

Parameters for the linear viscoelasticity (N-LVE) range for the creep function consistent with the GK-H model for four Prony series elements

	$\tau = 100$ Pa		$\tau = 3200$ Pa		$\tau = 6400$ Pa	
	0HL/FB2	0.15HL/FB2	0HL/FB2	0.15HL/FB2	0HL/FB2	0.15HL/FB2
g_0	1	1	1.000	0.997	0.997	0.997
g_1	1	1	0.777	0.761	0.798	0.702
g_2	1	1	1.374	1.135	3.214	2.132
a_0	1	1	0.403	0.350	0.574	0.31
$g_1 g_2$	1	1	1.068	0.863	1.472	1.497

It should be noted that the use of hydrated lime (0.15HL/FB2) causes that the mastic made with it obtained lower compliance J_0 than the mastic without hydrated lime (0HL/FB2). This indicates that hydrated lime beneficially contributed to the increase of momentary elasticity in the mastic. Observing the results of individual compliance values of the Prony series, it can be noticed that despite the faster reaching of successive retardation times by the mastics with hydrated lime, it still maintains high stiffness. Thus, providing a low level of strain. When analysing the results of the mastic's sensitivity to the stress level in terms of non-linear parameters, it should be noted that the parameter g_0 remains at a constant level regardless of the level of stress. Which indicates that the immediate compliance did not change as a result of increased stress. The parameter g_1 is responsible for the non-linearity of the time-dependent compliance. The higher the value of the parameter g_1 , the greater the probability of fast exceeding the flowing regime (the boundary between the second and third creep stage) and yielding of the sample. In addition, the increase in the g_1 parameter in 0HL/FB2 suggests an increase in mastic compliance (decrease in stiffness). Unfortunately, at this stage of the analysis, the yielding strength and its parameters have not been determined. Nevertheless, works are ongoing to determine the σ - ε relationship that also takes into account the state at with the mastic yielding. With regard to the experiment performed, this value was reduced after the addition of hydrated lime (0.15HL/FB2). Nonetheless, the value of the parameter g_2 that was dependent on the rate of stress growth, has dropped. The product $g_1 g_2$ determines the vertical shift of the strain plot over time in relation to the LVE range. In this case, the presence of hydrated lime reduces the compliance quicker (high level $g_1 g_2$) than when the mastic was made of lime filler. In addition, the parameter a_σ accounts for the horizontal shift of the plot $\varepsilon(t)$ in the N-LVE range in relation to the LVE range. Comparing the results of the coefficient a_σ for both mastic compositions, it should be stated that the addition of hydrated lime reduces the time when the material's response is purely elastic. Thereby, the creep process will be faster than in the case of compositions without hydrated lime. Nevertheless, the low level of non-linearity g_1 and the low compliance of each element of the Prony series makes the mastic with hydrated lime still maintain high stiffness despite the slightly

Należy zwrócić uwagę, że zastosowanie wapna hydratyzowanego (0,15HL/FB2) powoduje, że wykonany z jego udziałem mastyks uzyskał niższą podatność J_0 niż mastyks bez wapna hydratyzowanego (0HL/FB2). Świadczy to o tym, że wapno hydratyzowane korzystnie przyczyniło się do wzrostu sprężystości chwilowej w mastyksie. Obserwując wyniki poszczególnych wartości podatności szeregu Prony'ego można zauważyć, że pomimo szybszego tempa osiągania przez mastyks z wapnem hydratyzowanym kolejnych czasów retardacji wciąż utrzymuje wysoką sztywność. Zapewniając tym samym niski poziom deformacji. Analizując wyniki wrażliwości mastyksu na poziom naprężenia w ujęciu nieliniowych parametrów, należy zwrócić uwagę, że parametr g_0 pozostaje na niezmiennym poziomie bez względu na poziom naprężenia. Co świadczy, że podatność natychmiastowa nie uległa zmianie na wskutek wzrostu naprężenia. Parametr g_1 jest odpowiedzialny za nieliniowość części podatności zależnej od czasu. Im większa wartość parametru g_1 , tym większe prawdopodobieństwo szybkiego osiągnięcia przekroczenia stanu ustalonego płynięcia (granica pomiędzy II i III etapem pełzania) i uplastycznienia próbki. Ponadto wzrost parametru g_1 w 0HL/FB2 sugeruje wzrost podatności (spadek sztywności mastyksu). Niestety na tym etapie analizy nie ustalono wartości granicy plastyczności oraz jej parametrów. Niemniej jednak wciąż trwają prace nad ustaleniem relacji σ - ε uwzględniającej również stan uplastycznienia mastyksu. W odniesieniu do wykonanego eksperymentu wartość ta uległa korzystnemu zmniejszeniu po dodaniu wapna hydratyzowanego (0,15HL/FB2). Spadkowi uległa także wartość parametru g_2 , który jest zależny od tempa wzrostu naprężenia i reguluje wartość szybkości procesu relaksacji. Iloczyn $g_1 g_2$ stanowi o pionowym przesunięciu wykresu odkształcenia w czasie względem zakresu LVE w fazie pełzania. W tym przypadku obecność wapna hydratyzowanego powoduje, że podatność będzie ulegała szybszej redukcji (wysoki poziom $g_1 g_2$) niż w sytuacji, gdy mastyks został wykonany z wypełniacza wapiennego. Ponadto parametr a_σ jest odpowiedzialny za poziome przesunięcie przebiegu wykresu $\varepsilon(t)$ w zakresie N-LVE w odniesieniu do zakresu LVE. Porównując wyniki współczynnika a_σ dla obydwu kompozycji mastyksu, należy stwierdzić, że dodatek wapna hydratyzowanego powoduje skrócenie czasu, gdzie odpowiedź materiału ma charakter czysto sprężysty. Tym samym proces pełzania będzie postępował szybciej niż w przypadku kompozycji bez wapna hydratyzowanego. Niemniej jednak niski poziom nieliniowości g_1 oraz niska podatność każdego z elemen-

faster rate of the creep process. The lower rate of elastic recovery of 0.15HL/FB2 compared to 0HL/FB2 was compensated with a lower decrease in mastic stiffness in the creeping phase (expressed by lower value of g_i). It should be emphasized that the total elastic recovery is not possible to evaluate within 9 seconds.

To compare the results of the creep process of both mastic compositions, a numerical algorithm developed on the basis of the equation (1) using all the experimentally determined non-linear parameters of the Schapery model, was applied. Taking into account the basic recursive-iterative algorithm of Haj-Ali and Mulian [19] and the sub-integral creep function of the GK-H model, the strain increment value was determined on the basis of the formula:

$$\Delta\gamma(t) = \left\{ g_0 J_0 + g_1 g_2 \sum_{i=1}^n J_i \left[\frac{\Delta\psi}{\lambda_i} \left[e^{(-\lambda_i \Delta\psi)} - 1 \right] + 1 \right] \right\} \Delta\sigma + \left\{ \sum_{i=1}^n e^{(-\lambda_i \Delta\psi)} - 1 \right\} \gamma^i(t - \Delta t) \quad (6)$$

where: $\Delta\sigma$ – stress increment, Δt – time increment, $\gamma^i(t - \Delta t)$ – strain caused by i -th element of the Prony series in time $(t - \Delta t)$. Simulation of material responses was performed for the stress history in sequence. The results of the numerical analysis are presented in the Figure.

tów szeregu Prony’ego sprawia, że mastyks z wapnem hydratyzowanym będzie wciąż zachowywał wysoką sztywność, pomimo nieznacznie szybszego tempa procesu pełzania. Niższa szybkość nawrotu sprężystego mastyksu 0,15HL/FB2 w porównaniu do 0HL/FB2 była kompensowana z niższym spadkiem sztywności w fazie pełzania. Należy podkreślić, że całkowity nawrót sprężysty nie jest możliwy w czasie 9 s.

Aby porównać rezultaty procesu pełzania obu kompozycji mastyksu, zastosowano algorytm numeryczny, opracowany na podstawie równania (1), wykorzystujący wszystkie eksperymentalnie ustalone parametry modelu nieliniowej lepkosprężystości Schapery’ego. Uwzględniając podstawowy rekursywno-iteracyjny algorytm Haj-Ali oraz Muliana [19] oraz uwzględniając podcałkową funkcję pełzania modelu GK-H, wartość przyrostu deformacji określono na podstawie formuły:

$$\Delta\gamma(t) = \left\{ g_0 J_0 + g_1 g_2 \sum_{i=1}^n J_i \left[\frac{\Delta\psi}{\lambda_i} \left[e^{(-\lambda_i \Delta\psi)} - 1 \right] + 1 \right] \right\} \Delta\sigma + \left\{ \sum_{i=1}^n e^{(-\lambda_i \Delta\psi)} - 1 \right\} \gamma^i(t - \Delta t) \quad (6)$$

gdzie: $\Delta\sigma$ – przyrost naprężenia, Δt – przyrost czasu, $\gamma^i(t - \Delta t)$ – odkształcenie wywołane i -tym elementem szeregu Prony’ego w czasie $(t - \Delta t)$. Symulację odpowiedzi materiałów wykonano dla historii naprężenia w sekwencji. Rezultaty analizy numerycznej przedstawiono na rysunku 4.

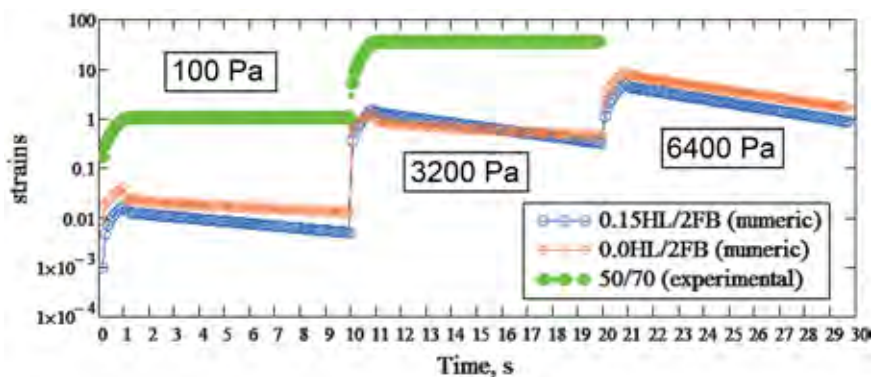


Fig. 4. Numerical analysis of the course $\varepsilon(t)$ depending on the stress cycle

Rysunek 4. Analiza numeryczna przebiegu $\varepsilon(t)$ w zależności od cyklu naprężenia

When analysing the test results in Figure 4, it should be noted that the 50/70 asphalt indicates no elastic recovery in the relief cycle at a temperature of 60°C for 100 Pa and 3200 Pa. This means that the asphalt behaves similar to the Newtonian fluid. In the case of the 0.15HL/FB2 mastic, a clearly lower

Analizując wyniki badań na rysunku 4, należy zwrócić uwagę, że asfalt 50/70 w temperaturze 60°C dla naprężenia 100 Pa oraz 3200 Pa wskazuje na brak nawrotu sprężystego w cyklu odciążenia. Oznacza to, że asfalt zachowuje się podobnie do cieczy newtonowskiej. W przypadku mastyksu 0,15HL/FB2 widać

compliance in each of the load cycles in relation to the 0HL/FB2 composition can be seen. Therefore, it should be stated that the presence of hydrated lime has an effect on minimizing the mastic strain process. In addition, the largest elastic recovery in the mastic with hydrated lime was observed. This is extremely important from the point of view of the hydrated lime implementation in the asphalts, because the increase in strain in asphalt by 1% increases strain in the binder by up to 46% [20].

5. CONCLUSIONS

The following conclusions were made based on the performed tests and analyses:

- description of the mastic, using a non-linear viscoelasticity model, characterizes, in a comprehensive manner, the behaviour of the material, functionally binding load time, temperature and stress,
- the mastic containing hydrated lime obtained the lowest instantaneous compliance J_0 . This is reflected in the high stiffness of the mastic with hydrated lime,
- in the mastic with hydrated lime, the value of the parameter g_1 that is responsible for the non-linearity of the compliance part, which is time dependent, was the lowest. As a result, the mastic with hydrated lime will probably reach the third creep stage in the higher stress range than the mastic with lime filler,
- the highest value of the product $g_1 g_2$ (proportional strain increment) was noted for the mastic with limestone filler. Nevertheless, the stiffness of the mastic with hydrated lime, from the fact of the low value of parameter g_1 , is higher than the mastic with the addition of limestone (mineral) filler,
- The highest elastic recovery, based on the numerical analysis, was recorded for the composition of the mastic with hydrated lime,
- the use of hydrated lime in the mastic has a significant effect on reducing strain over time.

REFERENCES

- [1] „Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych”. 2014.
- [2] Obara P. i Gilewski W., „Dynamic stability of moderately thick beams and frames with the use of harmonic balance and perturbation methods”, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, t. 64, nr 4, 2016.
- [3] Kim Y. R., Red., *Modeling of asphalt concrete*. Reston, VA : New York: ASCE Press; McGraw-Hill, 2009.
- [4] Mazurek G. i Iwański M., „Relaxation Modulus of SMA with Polymer Modified and Highly Polymer Modified Bitumen”, *Procedia Engineering*, t. 172, s. 731-738, 2017.

wyrażnie niższą podatność w każdym z cykli obciążenia w stosunku do kompozycji 0HL/FB2. W związku z tym należy stwierdzić, że obecność wapna hydratyzowanego korzystnie wpływa na minimalizację procesu deformacji mastyksu. Ponadto zaobserwowano największy nawrót sprężysty w mastyksie z wapnem hydratyzowanym. Ma to ogromne znaczenie z punktu widzenia implementacji wapna hydratyzowanego do mieszanek mineralno-asfaltowych, gdyż wzrost odkształcenia w mma o 1% powoduje wzrost odkształcenia w lepiszczu nawet o 46% [20].

5. WNIOSKI

Na podstawie wykonanych badań i analiz sformułowano następujące wnioski:

- opis mastyksu za pomocą modelu nieliniowej lepko-sprężystości w sposób kompleksowy charakteryzuje zachowanie materiału, wiążąc funkcyjnie czas obciążenia, temperaturę oraz naprężenie,
- mastyks zawierający wapno hydratyzowane uzyskał najniższą podatność chwilową J_0 . Ma to odzwierciedlenie w dużej sztywności mastyksu z wapnem hydratyzowanym,
- w mastyksie z wapnem hydratyzowanym wartość parametru g_1 odpowiedzialnego za nieliniowość części podatności, która jest zależna od czasu, była najniższa. W rezultacie mastyks z wapnem hydratyzowanym prawdopodobnie osiągnie III etap pełzania w zakresie większych naprężeń niż mastyks z wypełniaczem wapiennym,
- najwyższą wartość iloczynu $g_1 g_2$ (proporcjonalny przyrost deformacji) odnotowano dla mastyksu z mączką wapienną. Pomimo tego sztywność mastyksu z wapnem hydratyzowanym jest wyższa z faktu niskiej wartości parametru g_1 niż z dodatkem wypełniacza mineralnego,
- na podstawie analizy numerycznej najwyższy korzystny nawrót sprężysty został zarejestrowany dla kompozycji mastyksu z wapnem hydratyzowanym,
- zastosowanie wapna hydratyzowanego w mastyksie ma istotny wpływ na ograniczenie deformacji w czasie.

- [5] Kłabińska M. i Piłat J., *Reologia asfaltów i mas mineralno-asfaltowych*. WKŁ, 1982.
- [6] Bonaquist R.F., *Refining the simple performance tester for use in routine practice*. Washington, D.C: Transportation Research Board, 2008.
- [7] Chailleux E., Ramond G., Such C., i de La Roche C., „A mathematical-based master-curve construction method applied to complex modulus of bituminous materials”, *Road Materials and Pavement Design*, t. 7, nr sup1, s. 75-92, 2006.
- [8] Schapery R. A., „On the characterization of nonlinear viscoelastic materials”, *Polymer Engineering and Science*, t. 9, nr 4, s. 295-310, 1969.
- [9] Zhang Y., Luo R., i Lytton R. L., „Characterization of viscoplastic yielding of asphalt concrete”, *Construction and Building Materials*, t. 47, s. 671-679, 2013.
- [10] Brinson H. F. i Brinson L. C., *Polymer engineering science and viscoelasticity: an introduction*. New York: Springer, 2008.
- [11] Shirodkar P., Mehta Y., Nolan A., Dahm K., Dusseau R., i McCarthy L., „Characterization of creep and recovery curve of polymer modified binder”, *Construction and Building Materials*, t. 34, s. 504-511, 2012.
- [12] Huang C.W., Abu Al-Rub R. K., Masad E. A., Little D. N., i Airey G. D., „Numerical implementation and validation of a nonlinear viscoelastic and viscoplastic model for asphalt mixes”, *International Journal of Pavement Engineering*, t. 12, nr 4, s. 433-447, 2011.
- [13] Grabowski W., *Struktura a właściwości funkcjonalne wypełniaczy mineralnych stosowanych w drogownictwie*. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2007.
- [14] Lesueur D., Petit J., i Ritter H.J., „The mechanisms of hydrated lime modification of asphalt mixtures: a state-of-the-art review”, *Road Materials and Pavement Design*, t. 14, nr 1, s. 1-16, 2013.
- [15] Grabowski W. i Wilanowicz J., „The structure of mineral fillers and their stiffening properties in filler-bitumen mastics”, *Materials and Structures*, t. 41, nr 4, s. 793-804, 2008.
- [16] Schapery R. A., *A Theory of Non-linear Thermoviscoelasticity Based on Irreversible Thermodynamics*. American Society of Mechanical Engineers, 1966.
- [17] Schapery R. A., „An engineering theory of nonlinear viscoelasticity with applications”, *International Journal of Solids and Structures*, t. 2, nr 3, s. 407-425, 1966.
- [18] J. Lai i A. Bakker, „An integral constitutive equation for nonlinear plasto-viscoelastic behavior of high-density polyethylene”, *Polymer Engineering and Science*, t. 35, nr 17, s. 1339-1347, 1995.
- [19] Haj-Ali R. M. i Muliana A. H., „Numerical finite element formulation of the Schapery non-linear viscoelastic material model”, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, t. 59, nr 1, s. 25-45, 2004.
- [20] Kose S., Guler M., Bahia H., i Masad E., „Distribution of Strains Within Hot-Mix Asphalt Binders: Applying Imaging and Finite-Element Techniques”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, t. 1728, s. 21-27, 2000.

Acknowledgments:

The work was financed by Kielce University of Technology, part of the statutory work No. 02.0.09.00/2.01.01.01.0000 MNSP.BKIK.18.002

Podziękowania:

Praca była finansowana przez Politechnikę Świętokrzyską, w ramach pracy statutowej nr: 02.0.09.00/2.01.01.01.0000 MNSP.BKIK.18.002



EDYTA BANACHOWSKA
Kielce University of Technology
e-mail: ebanachowska@tu.kielce.pl

Manuscript submitted 2018.06.07 – revised 2018.08.15,
initially accepted for publication 2019.10.01, published in March 2019

SECOND LIFE OF THE 19th AND 20th CENTURY BUILDINGS ON THE EXAMPLE OF THE REVITALIZATION OF ARCHITECTURE BUILDINGS ART GALLERIES CULTURE CENTRES

DRUGIE ŻYCIE BUDYNKÓW XIX I XX WIEKU NA PRZYKŁADZIE REWITALIZACJI OBIEKTÓW ARCHITEKTONICZNYCH GALERIE SZTUKI CENTRA KULTURY

DOI: 10.30540/sae-2019-003

Abstract

In 1992, the idea of adapting the power plant building located in the industrial district of London in the contemporary art gallery Tate Modern, was brought into effect. Implementation, immediately after the opening in 1997, attracted millions of visitors and over more than 20 years of cultural activity it has become one of the most popular galleries of modern art in the world. Thus the worldwide trend of arranging art and culture centres in the revitalized buildings has started. A great example of this idea is the CaixaForum in Madrid and a number of Polish projects. In each major city in our country an old neglected building which represents cultural values has been revitalized. The derelict boiler-house in Olsztyn was converted into the Technology Education Center and the building of an orphanage and a nursery was transformed into the gallery of contemporary art BWA in Kielce. Labor-intensive and costly actions contributed to saving not only abandoned and vandalized buildings, but also influenced the preservation of historic city centers, protection and preservation of frontages and precious landscape values. Public awareness in the field of cultural heritage has definitely increased and the measures aimed at giving a second life to historic, derelict buildings are met with growing interest and enthusiasm.

Keywords: restoration, revitalization, preservation, alteration, art gallery, cultural center, art centre, cultural heritage, cultural value.

Streszczenie

W 1992 roku narodził się pomysł adaptacji budynku elektrowni, położonej w przemysłowej dzielnicy Londynu, na galerię sztuki współczesnej Tate Modern. Realizacja, zaraz po otwarciu (1997), przyciągnęła miliony zwiedzających i w ciągu ponad 20 lat działalności stała się jedną z najpopularniejszych galerii sztuki współczesnej na świecie. Tym samym zapoczątkowano światowy trend urządzania centrów sztuki i kultury w zrewitalizowanych budynkach. Świetnym przykładem kontynuacji tej myśli jest CaixaForum w Madrycie czy liczne realizacje polskie. W każdym większym mieście naszego kraju udało się dokonać rewitalizacji zaniedbanego starego budynku przedstawiającego wartość kulturową: przebudowa zrujnowanej kotłowni w Olsztynie na Centrum Edukacji Technologicznej, rewitalizacja budynku ochronki i przedszkola na galerię sztuki współczesnej BWA w Kielcach. Pracochłonne i kosztowne działania przyczyniły się do uratowania nie tylko opuszczonych i zdewastowanych budynków, ale wpłynęły na zachowanie zabytkowych centrów miast, ochronę pierzei czy zachowanie cennych walorów krajobrazowych. Wzrosła świadomość społeczeństwa w dziedzinie ochrony własnego dziedzictwa kulturowego – działania zmierzające do nadania drugiego życia zabytkowym, zrujnowanym budynkom są przyjmowane z rosnącym zainteresowaniem i entuzjazmem.

Słowa kluczowe: rewaloryzacja, rewitalizacja, ochrona, odnowa, galeria sztuki, centrum kultury, centrum sztuki, dziedzictwo kulturowe, wartość kulturowa..

1. INTRODUCTION

Art has been present in peoples' lives since the dawn of history. It develops with the progress of civilization and surrounds us in the forms of music, poetry, theater, painting, sculpture, architecture, photography. 'Man's aware design is always a work of art and only if it represents reality, either shape forms or expresses experience, and yet it is capable of either to delight, or move, or jar.' [1]

We like to enjoy art, we go to concerts to concert halls, watch films at the cinema, performances in the theatre, paintings, sculptures, we admire photography in galleries. The 20th century ushered people's awareness of the necessity of protecting our cultural heritage. In the last century, starting with the places considered as cultural centers of the world like Paris, New York, London, ending with smaller towns like Kielce, museums and art galleries have been built. Many of them are located in neglected, derelict historic buildings, which are of the finest cultural value. However, their expensive, thorough renovations were possible only thanks to EU funds, after the accession of Poland to the European Union in 2004. The benefits of these actions are invaluable: local communities gain valuable cultural centres and buildings are restored to their former glory and gain a second life. All over the world the trend to restore old buildings has lasted for several decades and has become fashionable. Not only aesthetic values of such places, but also commercial ones have been noticed - old factories, power plants, abandoned hospitals are usually located in valuable areas of the centers of big cities.

Almost always the modernization of the building involves changing its initial function, re-building and introducing modern ventilation systems, air conditioning or lighting. Old buildings have immense cultural value and they are national heritage. They can successfully serve new functions.

Selected examples of renovation of the buildings by bestowing features of art and culture upon them, are discussed below.

2. ART GALLERIES IN THE BUILDINGS FROM THE 19TH AND 20TH CENTURY

2.1. Tate Modern – Modern and Contemporary Art Gallery, Bankside, London

Investor: phase I, Tate Trustees, London, UK,

Project: Herzog & de Meuron, phase I 1995-1997, phase II 2001, phase III 2005,

1. WPROWADZENIE

Sztuka towarzyszy człowiekowi od zarania dziejów. Rozwija się wraz z postępem cywilizacji, otacza nas w przeróżnej postaci: muzyki, poezji, teatru, malarstwa, rzeźby, architektury, fotografii. „Świadomy wytwór człowieka jest dziełem sztuki zawsze i tylko wtedy, gdy odtwarza rzeczywistość, bądź kształtuje formy, bądź wyraża przeżycie, a zarazem jest zdolny bądź zachwycać, bądź wzruszać, bądź wstrząsać.” [1]

Lubimy się sztuką delectować, chodzimy na koncerty do filharmonii, oglądamy filmy w kinie, przedstawienia w teatrze, obrazy, rzeźby, fotografię podziwiamy w galeriach. XX wiek zapoczątkował świadomość konieczności działań zmierzających do ochrony dziedzictwa kulturowego. W minionym wieku, zaczynając od ośrodków uważanych za centra kultury na świecie jak Paryż, Nowy Jork, Londyn, na mniejszych miejscowościach, jak Kielce, kończąc, powstały muzea i galerie sztuki. Wiele z nich lokowanych jest w zaniedbanych, zdewastowanych, zabytkowych budynkach, które same w sobie stanowią najwyższą wartość kulturową, a ich kosztowne, gruntowne renowacje stały się możliwe dopiero dzięki funduszom unijnym, po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej w 2004 roku. Korzyści są nieocenione: lokalne społeczności zyskują wartościowe centra kulturalne a budynki przywracane są do dawnej świetności i zyskują drugie życie. Na świecie trend rewaloryzacji starych budynków trwa już kilkadziesiąt lat i stał się modny. Zauważono nie tylko walory estetyczne owych miejsc, ale także zalety komercyjne – stare fabryki, elektrownie, opuszczone szpitale, zazwyczaj znajdują się w centrach dużych miast na wartościowych terenach.

Niemal zawsze modernizacja wiąże się ze zmianą pierwotnej funkcji, przebudową oraz wprowadzeniem współczesnych systemów wentylacyjnych, klimatyzacyjnych, oświetleniowych. Stare budynki mają niezmierzoną wartość kulturową i stanowią spuściznę narodową. Z powodzeniem mogą pełnić nowe funkcje użytkowe.

Niżej omówiono wybrane przykłady realizacji odnowy obiektów poprzez nadanie im funkcji kultury i sztuki.

2. GALERIE SZTUKI W BUDYNKACH XIX I XX WIEKU

2.1. Galeria Sztuki Współczesnej i Nowoczesnej

Tate Modern, Bankside, Londyn

Inwestor: etap I Tate Trustees, London, UK,

Projekt: Herzog & de Meuron, etap I 1995-1997, etap II 2001, etap III 2005

Implementation: phase I – 1998-2000, phase II – 2001-2002, 2005, phase III – alteration.

One of the first and most successful conversions of uninhabited buildings was the revitalization of the old Bankside Power Station, located on the south bank of the River Thames in London, into a gallery of modern and contemporary art called Tate Modern. (Fig. 1-3).

The construction of distinctive power station in London was completed in two phases in 1947 and 1963, and the building was designed by Sir Giles Gilbert Scott – known all over the world as the main designer of famous red British telephone booths. He also designed Cathedral in Liverpool. The structure was divided into three independent symmetrical parts serving different functions. And so huge main turbines were placed in the central part of the building (which is now called The Turbine Hall (Fig. 2)), not less famous southern part of the building, famous for the ‘mysterious hum’, is a transformer station open to these days. In 1980s a part of the plant was closed. The building in an industrial part of London would be another forgotten and derelict property, if not for the idea of converting a former Bankside Power Station into an independent modern and contemporary art gallery of in London.

In December 1992 the Tate Trustees announced their intention to create an international art gallery. The designers chose the building of the former power station, located in an industrial area, along the River Thames. An architectural competition was announced. The Swiss architects Herzog&de Meuron won it. The proposed solution, based on the recycling of the existing building materials, was highly appreciated by the jury.

As part of the revitalization, the building was rebuilt preserving the original division into three segments – the floor was overbuilt, the glazing and observation decks were installed, the inner steel structure was replaced. Creating an alteration project, the architect was inspired by the play of light in the building. That is how the idea of a skylight and glazing was born. ‘We can play with the idea of light hovering above a heavy brick structure of the former power plant. The light pours into the gallery through the glass on the superstructure of the museum and at night the direction of artificial lighting is changed so that it magically lights up the sky of London. The idea of light beam proved to be a key element of the development of other parts of the complex as a part of the overall architectural and urban concept of Tate

Realizacja: etap I – 1998-2000, etap II – 2001-2002, 2005, etap III – rozbudowa.

Jedną z pierwszych i najśłynniejszych adaptacji obiektów opuszczonych, stała się rewitalizacja starej elektrowni Bankside Power Station zlokalizowanej na południowym brzegu Tamizy w Londynie, na galerię sztuki nowoczesnej i współczesnej Tate Modern (il. 1-3).

Charakterystyczną w stolicy Wielkiej Brytanii elektrownię, wybudowaną w dwóch etapach w roku 1947 i 1963, zaprojektował Sir Giles Gilbert Scott – znany na całym świecie jako autor projektu symbolicznych angielskich czerwonych budek telefonicznych. Architekt, projektant m.in. katedry w Liverpoolu. Funkcjonalnie obiekt podzielono na trzy symetryczne części o odmiennych funkcjach. I tak w sali środkowej umieszczono ogromne turbiny (sławna obecnie Hala Turbin (il. 2)), część południowa to nie mniej słynna z „tajemniczego buczenia” czynna do dziś transformatornia. W latach osiemdziesiątych XX wieku część elektrowni zamknięto. Budynek w przemysłowej części Londynu stałby się kolejnym zapomnianym i niszczącym obiektem gdyby nie pomysł utworzenia w starej elektrowni Bankside samodzielnej galerii międzynarodowej sztuki nowoczesnej i współczesnej w Londynie.

W grudniu 1992 Tate Trustees ogłosili zamiar utworzenia międzynarodowej galerii sztuki. Wybór padł na budynek dawnej elektrowni, położony w dzielnicy przemysłowej, ale nad samą Tamizą. Ogłoszono konkurs architektoniczny, który wygrało szwajcarskie biuro architektoniczne Herzog&de Meuron. Zaproponowane rozwiązania oparte na recyklingu zastanej tkanki zostały wysoko ocenione przez jury konkursu.

W ramach rewitalizacji budynek przebudowano zachowując pierwotny podział na trzy segmenty – nadbudowano kondygnację, wprowadzono przeszklenia, tarasy widokowe, wymieniono część wewnętrznej konstrukcji stalowej. Podczas tworzenia projektu przebudowy inspirowano się możliwością gry światła w obiekcie. Tak powstał pomysł wprowadzenia świetlika i przeszkleń. „Możemy bawić się pomysłem światła unoszącego się nad ciężką strukturą cegły dawnej elektrowni. Światło wlewa się do galerii poprzez szkło na nadbudowie muzeum, a w nocy kierunek oświetlenia sztucznego jest odwrócony i magicznie świeci w niebo Londynu. Pomysł wiązki światła okazał się kluczowym elementem dla rozwoju innych części kompleksu w ramach ogólnej koncepcji architektonicznej i miejskiej galerii sztuki

Modern' [2]. The last floor offers a magnificent view of St. Paul's Cathedral, north London and the Thames.

The designers managed to convert an industrial building into a place which seems to be designed to serve as an art gallery from the very beginning. 'Overall, one gets the impression that the exhibitions were always there, as well as the brick facades, the chimney or turbine hall. This impression is of course deceptive – the interior of the building had been re-designed, but the new and the old construction elements had been combined and match one another in such a manner that they are indistinguishable' [2].

Exhibition rooms were given the opportunity of different space allocation depending on the needs. 'Spatial diversity is considerable, almost all the rooms are of different size and proportion. Furthermore, the walls may be added or removed at specific places, so that the dimensions can be adapted to the needs of different installations' [2].

During the design work the function of the chimney of the building was considered thoroughly. After analyses, the architects came to the surprising conclusion that neither of technical reasons nor of functional ones, it was not necessary to build such a construction. However, it was bricked up mainly of sightseeing and aesthetic reasons – the chimney was supposed to be the landmark on the map of London as well as its aim was to establish the dialogue with the dome of St Paul's, located on the opposite bank of the Thames. 'The vertical symmetry of the chimney is a direct response to the symmetry of the central dome of the Cathedral.' [2]

Today, several years since Tate Modern was opened, it seems that Tate Modern has always been an art gallery. Abnormally high interiors create unique climate and the opportunity to display large spatial installations attracts the exhibitors and crowds of visitors. A successful revitalization of a crumbling building into the gallery of modern art made it possible for the world architecture to do similar projects. A new wing of the building is built, resembling a pyramid of bare bricks. (Fig. 3)

The part of southern bank of the Thames, the Borough Southwark, traditionally industrialized was given socio-economic and cultural promotion due to reclaiming the area while revitalizing the building. The second life was given to the whole district that is now considered a new public space.

Tate Modern." [2] Z ostatniego piętra rozciąga się wspaniały widok na katedrę św. Pawła, północny Londyn i Tamizę.

Projektantom udało się stworzyć z obiektu przemysłowego miejsce, które wydaje się być zaprojektowane od początku pod galerię. „Ogólnie odnosi się wrażenie, że wystawy były tam zawsze, podobnie jak ceglane elewacje, komin lub hala turbin. To wrażenie jest oczywiście zwodnicze – we wnętrzu budynku wszystko zostało ponownie zaprojektowane, ale nowe i stare elementy budowlane zostały powiązane i dopasowane do siebie w taki sposób, że są nie do odróżnienia” [2].

Pomieszczenia ekspozycyjne uzyskały możliwość różnego podziału przestrzeni, w zależności od potrzeb. „Różnorodność przestrzenna jest znaczna, prawie wszystkie sale są różne w wielkości i proporcji. Ponadto ściany mogą być dodane lub usunięte w określonych miejscach, dzięki czemu wymiary mogą być dostosowane do potrzeb różnych instalacji” [2].

W trakcie prac projektowych zastanawiano się nad funkcją komina budynku. Po analizach architekci doszli do zaskakującego wniosku, że ani z powodów technicznych, ani funkcjonalnych nie była potrzebna aż taka konstrukcja, ale została zaprojektowana ze względów widokowo-estetycznych – komin miał stanowić punkt orientacyjny na mapie Londynu a także nawiązywać dialog z kopułą kościoła św. Pawła położonego na przeciwległym brzegu Tamizy. „Pionowa symetria komina jest bezpośrednią odpowiedzią na symetrię centralnej kopuły katedry” [2].

Dzisiaj, po kilku latach działalności, wydaje się, że Tate Modern było galerią zawsze. Niespotykanie wysokie wnętrza tworzą unikatowy klimat, możliwość pokazywania dużych, przestrzennych instalacji przyciąga wystawców i tłumy zwiedzających. Udana rewitalizacja popadającego w ruinę budynku na galerię sztuki nowoczesnej otworzyła drzwi architektury światowej dla tego typu realizacji. Wybudowane jest nowe skrzydło, bryłą przypominające piramidę z nieotynkowanych cegieł (il. 3).

Fragment południowego brzegu Tamizy, Southwark, tradycyjnie uprzemysłowiony obszar, dzięki zagospodarowaniu terenu przy okazji rekultywacji budynku, dostał gospodarczo-społeczny i kulturalny awans. Drugie życie otrzymała cała dzielnica, stanowiąca nową przestrzeń publiczną.



Fig. 1. Tate Modern – London. The condition of the building after the alteration. View from the River Thames and a new footbridge across the river connecting Tate Modern with the northern part of London (Photo by Shaun Jones, source: the Internet)

Il. 1 . Tate Modern – Londyn. Stan po przebudowie. Widok od strony Tamizy i kładka nad Tamizą łącząca Tate Modern z północnym Londynem (fot. Shaun Jones, źródło: internet)



Fig. 2. Tate Modern – London. The Turbine Hall after the alteration (Photo by Adrian Pingstone, source: the Internet)

Il. 2. Tate Modern – Londyn. Hala Turbin. Stan po przebudowie (fot. Adrian Pingstone, źródło: internet)



Fig. 3. Tate Modern – London. The visualization of the new south wing of the building currently under construction (Visualisation by Herzog & de Meuron, source: the Internet)

Il.3. Tate Modern – Londyn. Wizualizacja będącego w trakcie budowy nowego skrzydła od strony południowej galerii (wizualizacja Herzog & de Meuron, źródło: internet)

2.2. The Centre For Arts and Culture – CaixaForum, Paseo Del Prado, Madrid

Investor: Obra Social Fundación ‘LaCaixa’, Madrid, Spain; Caixa d’Estalvis and Pensions de Barcelona, Barcelona, Spain

Project: Herzog & de Meuron, 2001-2003

Implementation: 2003-2008

The Centre for Arts and Culture CaixaForum in Madrid is a successful example of postindustrial architecture restoration, combining the old walls with contemporary avant-garde. The building is located in the historic center, southeast, a few minutes walk from Puerta del Sol, among houses and narrow streets. The CaixaForum-Madrid stands on an advantageous site facing the Paseo del Prado and the Botanical Garden vis à vis. This new address for

2.2. Centrum Kultury i Sztuki CaixaForum, Paseo Del Prado, Madryt

Inwestor: Obra Social Fundación “LaCaixa”, Madrid, Spain; Caixa d’Estalvis i Pensions de Barcelona, Barcelona, Spain

Projekt: Herzog & de Meuron, 2001-2003

Realizacja: 2003-2008

Udanym przykładem rewaloryzacji przemysłowej architektury, łączącej stare mury ze współczesną awangardą, jest Centrum Sztuki i Kultury CaixaForum w Madrycie. Obiekt zlokalizowano w historycznym centrum miasta, kilka minut na południowy wschód od Puerta del Sol, wśród kamienic i wąskich uliczek, vis a vis Real Jardín Botánico, w obszarze zajęтым dotychczas przez nieatrakcyjne struktury miejskie: elektrownię z przełomu XIX/XX wieku

the arts is located in an area occupied until now by unspectacular urban structures: the Central Eléctrica Power Station built at the turn of the 19th and 20th century and a gas station (Fig. 4). The brick walls of the former power station are reminiscences of the early industrial age in Madrid, while the gas station, a purely functional structure, was clearly out of place (Fig. 5). The demolition of the gas station created a small plaza between the Paseo del Prado and the new CaixaForum in the converted power station.

‘The building of a power plant was designed in 1899 by an architect Jesús Carrasco-Munoz Encina and an engineer José Maria Hernández. After the closure of the power plant, the building was not restored for many years and it fell into ruin. The access to the building from Paseo del Prado street was impeded by the nearby petrol station. The principle of the building construction was based on the projects of railway stations. The design consisting of two parallel aisles of rectangular shape, surrounded by brick walls, was set on a stone foundation. The cladding was provided by two pitched roofs with standard steel structure. Its area was 1934 m². The building was simple in form and almost devoid of detail on the facade, except for a few corner pilasters and decorative elements of the windows – typical for industrial buildings built in Madrid at the end of the nineteenth century.’ [3]

The idea of CaixaForum was to create an extraordinary place attracting not only the art-lovers but all people of Madrid and from outside. The attraction will not only be CaixaForum’s cultural programme, but also the building itself. The neglected postindustrial building was detached the ground and a free space on the ground floor attracting passers-by was created. That is how the idea of levitating building was established. The construction was cut off the foundation and situated on three huge pillars, invisible from the outside. Non of the external walls touches the ground.

‘The building is lifted off the ground, in apparent defiance of the laws of gravity, to literally draw visitors inside. The only material of the old power station that we could use was the classified brick shell. In order to conceive and insert the new architectural components of the CaixaForum Project, we began with a surgical operation, separating and removing the base and useless tissue – dividing the structure from the ground. This opened a completely novel and spectacular perspective that simultaneously solved a number of problems posed by the site. The removal of the base of the building left a covered plaza under the brick shell, which now appears to float above the street level’ [2].

i stację benzynową. Ceglane mury dawnej elektrowni są wspomnieniami wczesnego przemysłowego okresu Madrytu (il. 4). Stacja benzynowa była wyraźnie nie na miejscu (il. 5). Jej rozbiórka stworzyła mały plac między Paseo del Prado i budynkiem powstałym na bazie elektrowni.

„Budynek elektrowni zaprojektowali w 1899 roku architekt Jesús Carrasco-Munoz Encina i inżynier José Maria Hernández. Po zamknięciu elektrowni, nie restaurowany przez wiele lat, popadł w ruinę. Dostęp do obiektu od ulicy Paseo del Prado utrudniała zlokalizowana na działce obok stacja benzynowa. Zasada konstrukcji budynku została oparta na projektach halowych stacji kolejowych. Konstrukcja złożona z dwóch równoległych naw o prostokątnym kształcie, obudowanych ceglanymi ścianami, została posadowiona na kamiennych fundamentach. Przekrycie stanowiły dwa dachy dwuspadowe o standardowej stalowej konstrukcji. Jego powierzchnia wynosiła 1934 m². Budynek był prosty w formie i prawie pozbawiony detalu na fasadzie, poza kilkoma narożnymi pilastrami i elementami dekoracyjnymi przy oknach – typowymi dla budynków przemysłowych powstających w Madrycie pod koniec XIX wieku” [3].

Idea CaixaForum oparta została na stworzeniu niezwyklego miejsca, zachęcającego do odwiedzin mieszkańców i turystów nie tylko programem kulturalnym, ale także samym budynkiem. Zaniedbany poprzemysłowy budynek postanowiono poderwać z ziemi i stworzyć wolną przestrzeń w poziomie parteru wciągającą przechodniów. Tak powstało założenie lewitującego nad ziemią obiektu. Istniejącą konstrukcję odcięto od fundamentów i wsparto na trzech potężnych, niewidocznych z zewnątrz stopach. Żadna ze ścian zewnętrznych nie dotyka podłoża.

„Obiekt jest odcięty od ziemi w pozornym nieposłuszeństwie prawu ciężenia i dosłownie zasysa przechodniów do środka. Jedynym materiałem starej elektrowni, który mogliśmy zachować, była ceglana powłoka. Aby projektować i wstawiać nowe architektoniczne komponenty CaixaForum, zaczęliśmy od zabiegu chirurgicznego – odseparowania i usunięcia zbędnej tkanki - oddzielenia podstawy od podłoża. Zabieg ten stworzył nowe spektakularne perspektywy, jednocześnie rozwiązując szereg problemów na budowie. Usunięcie podstawy budynku utworzyło nadwieszenie, dzięki któremu budynek wydaje się pływać nad poziomem ulicy” [2].

Przestrzeń, którą utworzyło nadwieszenie, oferuje chłód i cień w gorącym Madrycie. Jest także głównym wejściem do wnętrza. Ten prosty archi-

This sheltered space under the CaixaForum offers its shade to visitors and at the same time it is the entrance to the Forum itself. This architectonically easy but complicated from the engineering side solution solved the problem of situating the main entrance. 'Problems such as the narrowness of the surrounding streets, the placement of the main entrance and the architectural identity of this contemporary art institution could be addressed and solved in a single sculptural gesture. The separation of the structure from the ground level created two worlds; one below and the other above the ground' [2].

The alteration enabled creating a multi-storey structure situated partly below and above the ground. The underground part, located as well below the plaza, provides space for a theater/auditorium, service rooms and several parking spaces. The structure above ground houses a gallery, a restaurant and administrative offices.

The designers managed to transform the crumbling monument into an architectural gem on a global scale and an uninteresting built-up area with industrial facilities has become an important point on the map of Madrid. For a distinctive and unique element we may consider a vertical garden covering unsightly façade of the building situated by the square, creating a vestibule into an adjacent botanical garden (Fig. 6). The highlight of the plaza surrounded by narrow adjoining streets added air and spaciousness to this place.

With the respect for the Spanish cultural heritage, architects treated well the seemingly unattractive building of former power station, surrounded by historical buildings downtown Madrid. Brick walls had been carefully restored using traditional methods. The combination of a historic building with a very modern and bold reconstruction is considered very successful (Fig. 7-8). The two-storey superstructure had been incorporated above the existing walls, creating a sculptural form reflecting the look of the surrounding buildings. The walls forming a superstructure were covered with openwork sheet containing noble rust. Most of the holes in the existing brick walls were bricked up and the new ones seem to be integrated into the structure accidentally. The interiors does not refer to the existing structured tissue, however, we can talk about a controlled chaos. The staircases are extremely interesting, one – white, as if sculpted in plaster, the other – completely 'covered with' sheet, designed in the style of deconstruction.

The building, which is of a unique cultural value, got a new life as a gallery and art centre, and the surrounding area became a cultural vestibule.

tektonicznie, ale trudny inżyniersko zabieg pozwolił rozwiązać kłopot, jakim było usytuowanie wejścia głównego. „Takie problemy, jak wąskość okolicznych ulic, odpowiednie ustawienie wejścia głównego, architektoniczna tożsamość instytucji sztuki współczesnej są rozwiązane jednym rzeźbiarskim gestem. Oddzielenie struktury od ziemi stworzyło dwa światy: jeden pod powierzchnią i drugi na powierzchni ziemi.”[2]

Po przebudowie stworzono wielopoziomowy obiekt usytuowany w części podziemnej i nadziemnej.

Część podziemna, ulokowana także pod placem, zawiera scenę/widownię, pokoje służbowe, miejsca parkingowe. Część nadziemna to galeria, restauracja, biura.

Projektantom udało się stworzyć z popadającego w ruinę zabytku perełkę architektoniczną na światową skalę, a nieciekawa przestrzeń zabudowana obiektami przemysłowymi stała się ważnym punktem na mapie Madrytu. Za charakterystyczny i niepowtarzalny element uznaje się ogród pionowy osłaniający nieefektywną elewację sąsiadującego z placem budynku, stwarzając przedśionek do przyległego ogrodu botanicznego (il. 6). Wyeksponowanie placu w otoczeniu ciasnych przylegających uliczek dodało przestrzeni powietrza i przestronności.

Architekci z szacunkiem dla hiszpańskiej spuścizny kulturowej potraktowali z pozoru nieatrakcyjny budynek po starej elektrowni, położony w otoczeniu zabudowy historycznej centrum Madrytu. Ceglane ściany zostały pieczołowicie odremontowane metodą tradycyjną. Za udany zabieg należy uznać połączenie zabytkowego budynku z niezwykle nowoczesną i odważną propozycją przebudowy (il. 7-8). Nad istniejące mury wkomponowane zostały dwie kondygnacje, tworząc rzeźbiarską nadbudowę, mającą odzwierciedlać wygląd okolicznych budynków. Ściany tworzące nadbudowę obłożono ażurową blachą pokrytą szlachetną rdzą. Większość otworów w istniejących ceglanych murach zamurowano, a nowe wydają się być wkomponowane przypadkowo. Wnętrza obiektu nie nawiązują do zastanej uporządkowanej tkanki, można mówić o kontrolowanym chaosie. Niezwykle ciekawe są klatki schodowe, jedna biała, jak wyrzeźbiona w gipsie, druga całkowicie „obita” blachą, zaprojektowana w stylistyce dekonstruktywizmu.

Budynek, stanowiący niepowtarzalną wartość kulturową, dostał nowe życie jako galeria i centrum sztuki, zaś otaczająca go przestrzeń zamieniła się w przedśionek kulturalny.



Fig. 4. CaixaForum – Madrid. Power plant building before the restoration works (Photo by Herzog & de Meuron, source: the Internet)

Il. 4. CaixaForum – Madryt. Budynek elektrowni przed rozpoczęciem prac budowlanych (fot. Herzog & de Meuron, źródło: internet)



Fig. 5. CaixaForum – Madrid. The condition of the building before the alteration – bird's eye view from over Real Jardín Botánico. View of the petrol station (Photo by Herzog & de Meuron, source: the Internet)

Il. 5. CaixaForum – Madryt. Stan przed przebudową – widok z lotu ptaka z nad Real Jardín Botánico. Widoczne zabudowania stacji benzynowej (fot. Herzog & de Meuron, źródło: internet)

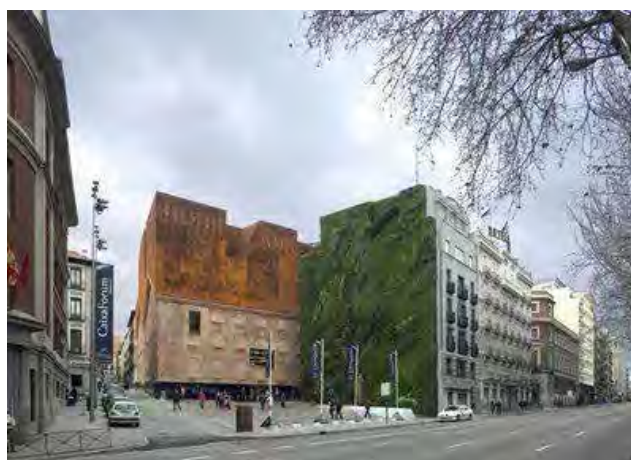


Fig. 6. CaixaForum – Madrid. Building after the restoration, view from the square and vertical garden from Paseo del Prado (Photo by Duccio Malagamba, source: the Internet)

Il. 6. CaixaForum – Madryt. Stan po rewaloryzacji, widok na plac i pionowy ogród od strony Paseo del Prado (fot. Duccio Malagamba, źródło: internet)



Fig. 7. CaixaForum – Madrid. View of the building overhang from the inside (Photo by Duccio Malagamba, source: the Internet)

Il. 7. CaixaForum – Madryt. Widok z wnętrza na nadwieszenie (fot. Duccio Malagamba, źródło: internet)

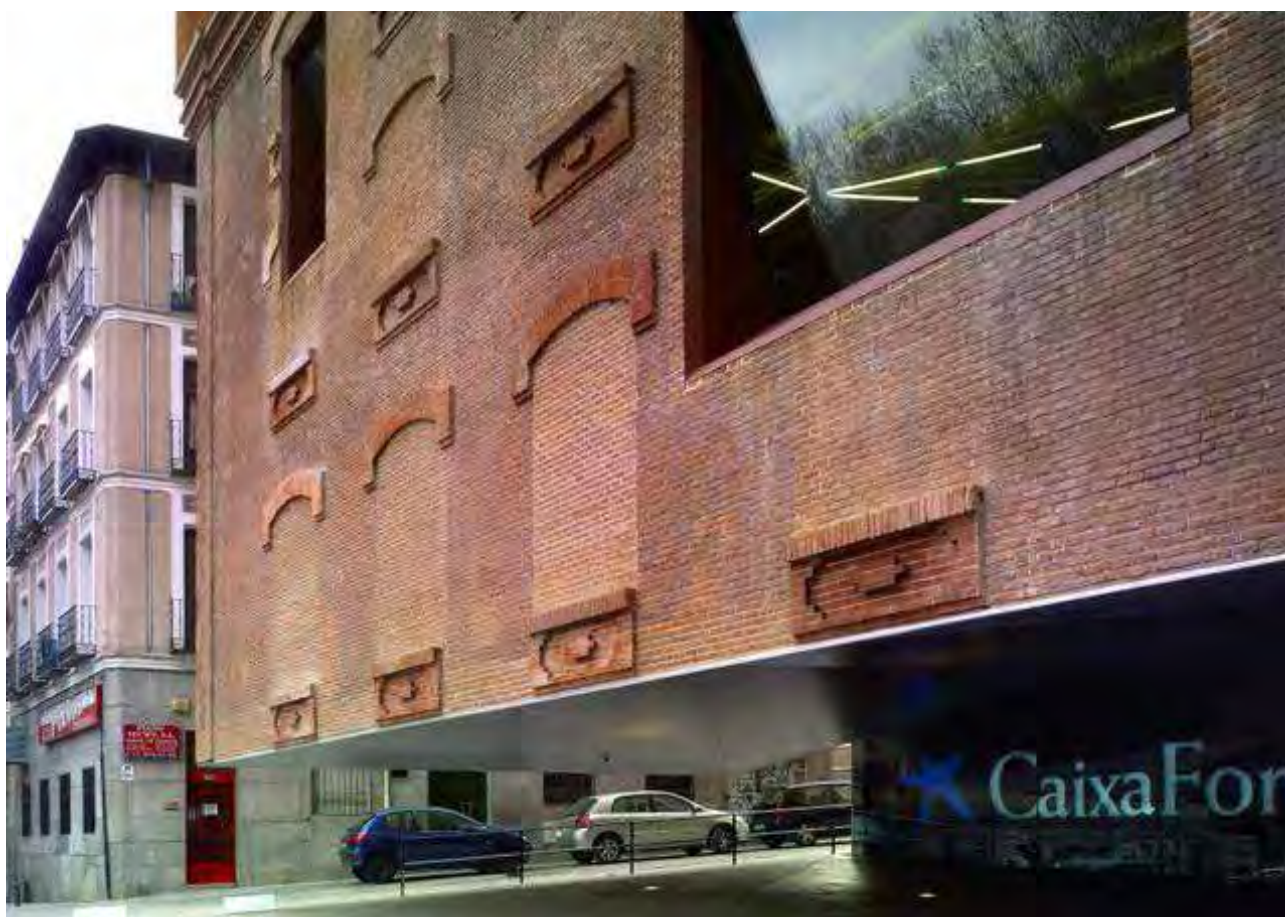


Fig. 8. CaixaForum – Madrid. View of the building overhang from the outside. (Photo by Duccio Malagamba, source – the Internet)

Il. 8. CaixaForum – Madryt. Widok na nadwieszenie z zewnątrz. (Fot. Duccio Malagamba, źródło internet)

2.3. The Technology Education Centre 'The Old – Boiler-House' at the University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Prawocheńskiego Street 9

Investor: The University of Warmia and Mazury, Oczapowskiego Street 2, Olsztyn

Project: Dżus Architects, civil law partnership, Olsztyn, 2009-2010 (architect: Grzegorz Dżus)

Implementation: 2011-2013

'Characteristic details of the building:

The building length 34,65 m

The building width 40,00 m

The building height 13,20 m

Usable floor area 2373,1 m²

Developed terrain area 4013,2 m²

Building area 1098 m²

Pedestrian and driving zone, car parks and cobbled slopes area 2878,1 m²

Green area 37,1 m² [4]

The historic building of the former boiler house built in the 1880s was successfully brought back to life at the premises of University of Warmia and Mazury in Olsztyn. Originally, the building served as a boiler-house, built in the years 1884-1889 for the needs of the Provincial Psychiatric Hospital in Olsztyn. In the 1970s and 1980s the property was modernized and rebuilt. Its technical condition was bad, the walls were dank. The body of the building consists of: a dominant body so called 'old boiler-house', boiler-house called 'a new one' with a chimney and an outbuilding, where we could find the engine room, electrical substation and workshops (Fig. 9).

Buildings, excluding the so-called 'new boiler-house', retained their bodies from the early twentieth century. The best preserved building was an old boiler-house with a chimney. Other structures being the part of Olsztyn premises already had visible signs of adaptation to the needs of that time. The majority of them were plastered and window and door openings were struck in them. The only original window frame, from the nineteenth century, was preserved in the lower part of the building called 'new boiler-house'. 'In connection with the reconstruction of Prawocheńskiego Street in the 1970s, the area facing the south side of the building had been lifted and floor level had been raised by about 0.5 m. This action preserved the historical terrain in the form of a trough with a paved slopes surface (now covered with secondary stratifications). The structure is in poor technical condition, caused not only by a strong moisture, but also by the lack of care and rough-and-

2.3. Centrum Edukacji Technologicznej „Stara Kotłownia” Uniwersytetu Warmińskiego-Mazurskiego w Olsztynie, ul. Prawocheńskiego 9

Inwestor: Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, ul. Oczapowskiego 2, Olsztyn

Projekt: Dżus Architekci s.c., Olsztyn, 2009-2010 (architekt: Grzegorz Dżus)

Realizacja: 2011-2013

„Charakterystyczne dane obiektu :

Długość obiektu 34,65 m

Szerokość obiektu 40,00 m

Wysokość obiektu 13,20 m

Pow. użytkowa obiektu 2373,1 m²

Pow. opracowywanego terenu 4013,2 m²

Pow. zabudowy obiektu 1098 m²

Pow. ciągów pieszo-jednych i parkingów oraz brukowanych skarp 2878,1 m²

Pow. terenów zielonych 37,1 m², [4]

Zabytkowy budynek byłej kotłowni z lat 80. XIX wieku udało się w 2013 roku przywrócić do życia na terenie Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Pierwotnie mieściła się tutaj kotłownia, zrealizowana w latach 1884-1889 na potrzeby Prowincjonalnego Zakładu Psychiatrycznego w Olsztynie. W latach 70. i 80. ubiegłego wieku obiekt był modernizowany i przebudowywany. Jego stan techniczny był zły, miał zawilgocone ściany. Na bryłę budynku składają się: bryła dominująca tzw. stara kotłownia, kotłownia, tzw. nowa z kominem, oraz przybudówki, w których były: maszynownia, podstacja elektryczna i warsztaty (il. 9).

Budynki, za wyjątkiem tzw. nowej kotłowni, zachowały swoje bryły z początku XX wieku. Najlepiej zachowanym obiektem był budynek starej kotłowni wraz z kominem. Pozostałe obiekty stanowiące zespół w Olsztynie miały już widoczne ślady adaptacji do ówczesnych potrzeb. W większości zostały otynkowane, wybito w nich nowe otwory drzwiowe i okienne. Jedyna oryginalna stolarka okienna z XIX-wiecznego założenia zachowała się w dolnej partii budynku, zwanego nową kotłownią. „W związku ze zrealizowaną w latach 70-tych przebudową ulicy Prawocheńskiego podniesiono od strony południowej teren w bezpośrednim sąsiedztwie budynku i podniesiono o około 0,5 m poziom posadzki. Zachowało się historyczne ukształtowanie terenu w postaci niecki z brukowaną nawierzchnią stoków (obecnie przykrytą wtórnymi nawarstwieniami). Obiekt jest w złym stanie technicznym, spowodowanym nie tylko silnym zawilgoceniem, ale również brakiem dbałości, prowi-

ready repairs and rebuilds in recent years, which did not take into account the historical value of the property. Nowadays, it serves as a thermal centre with bound workshops and social and office spaces' [4].

During the design works the priority was the maximal preservation of historic character of the building. The old and the new boiler houses were supposed to maintain clear span premises without introducing additional divisions, which resulted in keeping the historic character of the interior and highlighting the historic truss. The proposed functional layout was adapted to the existing window and door openings. To highlight the current superstructure of the new boiler-house, the cover of the part of the facade lining in anthracite had been introduced. A glass roof was designed above the exhibition part of the building, which is now called the 'old boiler-house'. The highlights above the engine room also received the modern form. Distinctive brick facade was restored retaining the woodwork divisions. Like in the Tate Modern, the part of the building still serves its original utilitarian function – in TEC there is a heat exchanger which supplies the entire University. In order to maximize the exhibition space, the technical room was moved to the newly designed basement, which required foundations boosting. Due to the high groundwater level concrete bubs were installed. It was decided to leave the characteristic elements of the original equipment in the form of, among others, La Mont boilers and so called coal hoppers (Fig. 10). Quite dark and oppressive interiors were opened up by the introduction of glass (glass balustrades, glass roof) and the use of soft colors.

Currently, the Technology Education Center has become a jewel of the University of Warmia and Mazury. Over a hundred year old devastated building has helped to improve the infrastructure of the University thanks to the revitalization (Fig. 11). The rooms are going to serve as exhibition halls as well as classrooms and seminar rooms. The building is going to be used by staff of the Centre for Innovation Technology Transfer, students of economics and the place is going to held formal meetings of the university senate. TEC is a Polish example of extremely successful alteration of a neglected building into a lively place called the Centre.

zorycznymi naprawami i przebudowaniami z ostatnich lat, które nie uwzględniały historycznej wartości obiektu. Pełni on obecnie funkcję węzła ciepłego oraz związanych z nim warsztatów i pomieszczeń socjalno-biurowych" [4].

Podczas prac projektowych priorytetem stało się maksymalne zachowanie zabytkowego charakteru budynku. W starej i nowej kotłowni założono utrzymanie jednoprzestrzennych pomieszczeń bez wprowadzania dodatkowych podziałów, dzięki czemu udało się zachować zabytkowy charakter wnętrza oraz wyeksponować zabytkową więźbę. Projektowany układ funkcjonalny dostosowano do istniejących otworów okiennych i drzwiowych. Aby uczynić aktualną nadbudowę nowej kotłowni, wprowadzono pokrycie fragmentu elewacji okładziną w kolorze antracytowym. Nad częścią wystawienniczą, tzw. starą kotłownią, zaprojektowano szklany dach. Współczesną formę otrzymały też naświetla nad maszynownią. Charakterystyczna ceglana elewacja została odrestaurowana, zachowano podziały stolarki. Podobnie jak w Tate Modern, i w tym obiekcie część budynku do tej pory pełni pierwotną funkcję użytkową – w CET znajduje się wymiennikownia zasilająca cały uniwersytet. Aby przestrzeń wystawiennicza była jak największa, pomieszczenie techniczne przeniesiono do nowo projektowanych piwnic, co wymagało podbicia fundamentów i ze względu na wysoki poziom wód gruntowych wykonania żelbetowej wanny. Zdecydowano się pozostawić we wnętrzach istniejące, charakterystyczne elementy pierwotnego wyposażenia w postaci m.in. kotłów La Monta i tzw. zasypów węglowych (il. 10). Dość ciemne i przytłaczające wnętrza zostały otwarte dzięki wprowadzeniu szkła (szklane balustrady, szklany dach) i zastosowaniu stonowanej kolorystyki.

Obecnie Centrum Edukacji Technologicznej stało się perłą Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego. Zdewastowany ponad stuletni budynek dzięki rewitalizacji poprawił infrastrukturę uniwersytetu (il. 11) Oprócz funkcji wystawienniczych przewiduje się wykorzystanie pomieszczeń jako sal wykładowych, dydaktycznych, seminaryjnych. Z budynku korzystać mają pracownicy Centrum Innowacji Transferu Technologii, studenci nauk ekonomicznych, a także planuje się organizowanie uroczystych posiedzeń senatu uczelni. CET to polski przykład niezwykle udanej odnowy zaniedbanego budynku w pełne życia Centrum.



Fig. 9. TEC in Olsztyn. View from the outside, after the alteration. 2013 (Photo by Przemysław Skrzydło/Gazeta Agency, source: the Internet)

Il. 9. CET w Olsztynie. Widok z zewnątrz, stan po przebudowie. 2013 (fot. Przemysław Skrzydło/Agencja Gazeta, źródło: internet)



Fig. 10. TEC in Olsztyn. View of the restored La Mont boilers. 2013 (Photo by Tomasz Waszczuk/PAP, source: the Internet)

Il. 10. CET w Olsztynie. Widok na odrestaurowane kotły La Mont`a. 2013 (fot. Tomasz Waszczuk/PAP, źródło: internet)



Fig. 11. TEC in Olsztyn. View from the outside, after the alteration. 2013 (Photo by Tomasz Waszczuk/PAP, source: the Internet)

Il. 11. CET w Olsztynie. Widok z zewnątrz, stan po przebudowie. 2013 (fot. Tomasz Waszczuk/PAP, źródło: internet)

2.4. Contemporary Art Gallery BWA in Kielce, Kapitulna Street, 2

Investor: The City of Kielce, Rynek 1, Kielce

Project: ebe STUDIO, Architectural Studio in Kielce, 2011-2012 (architect Edyta Banachowska)

Implementation: 2012-2013

In the centre of Kielce, on the view corridor: the main pedestrian zone of the city – the historic Castle Hill, there was a crumbling building. Vandalized walls, dropping plaster, graffiti on the walls, distracted tourists from one of the greatest monuments of the city – the baroque Palace of Cracow Bishops.

‘The object was built at the turn of the 19th and 20th century representing the architecture referring to residential character. Stanisław Szpakowski, the guberniyal engineer-architect in Kielce region since 1901, is believed to be the author of the project. He was the author of several buildings in Kielce, featured in the city landscape and existing until now: Saint Nicolaus Orthodox Church – current Holy Mary the

2.4. Galeria Sztuki Współczesnej BWA w Kielcach, ul. Kapitulna 2

Inwestor: Gmina Kielce, Rynek 1, Kielce

Projekt: ebe STUDIO Pracownia Architektoniczna Kielce, 2011-2012 (architekt Edyta Banachowska)

Realizacja: 2012-2013

W samym centrum Kielc, na osi widokowej: główny deptak miasta – zabytkowe Wzgórze Zamkowe, znajdował się zrujnowany budynek. Zdewastowane mury, odpadający tynk, graffiti na ścianach, zaburzały widok na największy zabytek miasta – barokowy Pałac Biskupów Krakowskich.

„Budynek powstał na przełomie XIX i XX wieku, prezentując historyzującą architekturę o charakterze willowym. Autorstwo projektu przypisywane jest Stanisławowi Szpakowskiemu, od 1901 roku będącemu inżynierem-architektem gubernialnym na kielecczyźnie. Stworzył kilka obiektów w Kielcach, wpisanych w krajobraz miasta i istniejących do dzisiaj: cerkiew świętego Mikołaja – obecnie kościół garni-

Queen of Poland Garrison Church, Synagogue, Holy Cross Church, a palace by Słowackiego Street 16 (his own residence), the house for retired priests.” [5]

At the beginning, the building served as an orphanage – an Orthodox shelter. Times of war and post-war years awe of disgraceful history of Kapitulna Street 2 – at first there was a Nazi torture cell, then the registered office of SB authorities. Many years had to pass by for the children to get back to the building – for decades it served a nursery, extremely popular due to its location in the heart of the city. (Fig. 12-13)

The matter of its future allocation caused several-year-long discussion among the residents. There were many ideas how to make use of it. One of the solutions envisaged total demolition of the building in order to unveil the view of the palace, another idea provided only a partial demolition and construction of the palace of solemn events. After numerous protests among the residents of Kielce who supported the idea to preserve the building, it was decided to renovate the building thoroughly and adapt it to the needs of the contemporary art gallery BWA.

The technical and mycological expertise prove very poor condition of the building. In spots exposed to the influence of moisture, the damage to the walls, brick cavities, plaster coming off and mould on the basement walls and ceiling could be noticed. The external walls were considerably dank due to lack of vertical insulation of the foundation walls (however, there was horizontal insulation, found on the ground floor level, up to 2 cm thick). The moisture was also a result of capillary action caused by the improper drainage of rainwater from the roof – water poured right next to the external walls from leaky gutters, causing splashes, the percolation of rainwater into the foundation walls and a capillary action at 2.5 m above ground level.

Walls were largely considered dank. A few spots showed the signs of brick damage (it sprinkled when touched with a hand). At the construction stage, after hacking off the plaster, construction workers found out that mould was a serious problem for a long time. They also discovered that the structural walls of 12 cm had been added to regular ones in order to cover the mould. In such way the nursery school had fought with the mould using different types of wall coverings. Unfortunately, both methods proved to be ineffective.

The restoration of the property extracted its hidden beauty. The soft, pastel colors made the building

znowy Najświętszej Marii Panny Królowej Polski, synagogę, kościół Świętego Krzyża, pałacyk przy ulicy Słowackiego 16 (własna rezydencja), dom księży emerytów.” [5]

Początkowo w budynku działała ochronka – przytułek prawosławny. Czasy wojny i lata powojenne to niechlubna historia Kapitulnej 2 – najpierw była tam katownia hitlerowska, potem siedziba władz UB. Wiele lat minęło, żeby do budynku wróciły dzieci – przez kilkadziesiąt lat w budynku działało przedszkole, bardzo popularne ze względu na położenie w samym centrum miasta (il. 12-13).

Jego docelowe przeznaczenie wywołało kilkuletnią dyskusję wśród mieszkańców. Pomysłów na wykorzystanie obiektu było wiele. Jeden z nich zakładał całkowitą rozbiórkę i odsłonięcie widoku na pałac, inny rozbiórkę częściową i wybudowanie na bazie kondygnacji piwnicznej pałacu ślubów. Po licznych protestach kielczan o zachowanie obiektu, zdecydowano się budynek gruntownie odnowić i adaptować na potrzeby galerii sztuki współczesnej BWA.

Przeprowadzone ekspertyzy stanu technicznego oraz mykologiczna wykazały bardzo zły stan budynku. W miejscach narażonych na działanie wilgoci widoczne były uszkodzenia muru, ubytki cegły, odspojenia tynku, zagrzybienie ścian i sklepień piwnic. Stwierdzono znaczne zawilgocenie ścian zewnętrznych spowodowane brakiem izolacji pionowej ścian fundamentowych (stwierdzono natomiast izolację poziomą występującą na poziomie podłogi parteru, o grubości dochodzącej do 2 cm) oraz podciąganiem kapilarnym na skutek nieprawidłowego odprowadzenia wód opadowych z dachu – z nieszczelnych rynien woda wylewała się tuż obok ścian zewnętrznych, powodując rozbryzgi, wsiąkanie wód opadowych w ściany fundamentowe oraz podciąganie kapilarne na wysokości 2,5 m powyżej poziomu terenu.

Mury w znacznej części uznano za mokre. W kilku miejscach widać było uszkodzenia cegły (osypywała się po dotknięciu ręką). Na etapie prac budowlanych, po skuciu tynków, okazało się, że z zagrzybieniem ścian walczone od dawna – odkryto dostawione do ścian konstrukcyjnych ścianki grubość 12 cm, prawdopodobnie właśnie po to, żeby „zasłonić” zagrzybienie. Przedszkole walczyło okładając ściany różnego rodzaju okładzinami – niestety obie metody okazały się nieskuteczne.

Odnova obiektu wydobyła jego ukryte piękno. Dzięki delikatnej, pastelowej kolorystyce udało się wtopić budynek w tło w taki sposób, aby na linii

blend into the background in such a way that the line between the promenade and Castle Hill was not just an accent, but it became the background for the palace. Thanks to relocating the main entrance to the north side, the building could 'establish a dialogue' with the adjacent Artists' Square and the main pedestrian zone called Sienkiewicza Street (Fig. 14-15).

The interior, in accordance with the wishes of the user, are subdued and minimalist: white walls and uniform granite flooring. They are to provide the background for the paintings displayed. The facility was opened after reconstruction in November 2013. That more than a hundred-year-old building regained its original splendor and received the second life due to the major renovation works. Architects managed to make the landscape of the city more attractive and save valuable and unique cultural legacy of the city.

deptak – Wzgórze Zamkowe nie stanowił akcentu, a stawał się tłem dla pałacu. Dzięki odwróceniu wejścia głównego na stronę północną nawiązano dialog z przyległym placem Artystów oraz głównym deptakiem – ulicą Sienkiewicza (il. 14-15).

Wnętrza, zgodnie z życzeniem użytkownika, są stonowane i minimalistyczne: białe ściany i granitowe jednolite posadzki. Mają stanowić tło dla wystawianych tu prac plastycznych. Obiekt został oddany do użytku po przebudowie w listopadzie 2013. Dzięki generalnemu remontowi ten ponad stuletni budynek uzyskał pierwotną świetność i drugie życie na długie lata. Udało się uatrakcyjnić krajobraz, a także ocalić cenną, unikatową spuściznę kulturalną miasta.



Fig. 12. BWA – Kielce. View from the Artists' Square, the condition of the building before the revitalization. 2011 (Photo by Edyta Banachowska)

Il. 12. BWA – Kielce. Widok od strony placu Artystów, stan przed rewitalizacją. 2011 (fot. Edyta Banachowska)



Fig. 13. BWA – Kielce. View from the Castle Hill, the condition of the building before the revitalization. 2011 (Photo by Edyta Banachowska)

Il. 13. BWA – Kielce. Widok od strony Wzgórza Zamkowego, stan przed rewitalizacją. 2011 (fot. Edyta Banachowska)



Fig. 14. BWA – Kielce. The view of BWA and the Castle Hill from the main pedestrian zone. The condition of the building after the revitalization. 2013 (Photo by Edyta Banachowska)

Il. 14. BWA – Kielce. Widok na BWA i Wzgórze Zamkowe z głównego deptaka miasta. Stan po rewitalizacji. 2013 (fot. Edyta Banachowska)



Fig. 15. BWA – Kielce. The view from the Castle Hill. The condition of the building after the revitalization. 2013 (Photo by Edyta Banachowska)

Il. 15. BWA – Kielce. Widok na BWA od strony wzgórza zamkowego. Stan po rewitalizacji. 2013 (fot. Edyta Banachowska)

3. SUMMARY

Described examples fit in with the trend of world architecture: revitalization of old, unkempt buildings and building complexes in order to bring to life an art gallery or culture centre, preserving its solid figure, form, details and existing equipment at the same time.

Designers of all executions named have saved existing layouts. Newly designed elements have been stressed with variant materials, texture, colors, implementation of glass, and play of light. Rusty precincts have been uncluttered, giving it structural order and neatness.

Rebuilding and modernization always gives buildings a new life. Crumbling, dank, moldy properties with plaster falling off become architectural city jewels. The renovated facades, tidy surroundings, spectacular lighting can extract the hidden architectural beauty of many objects.

Once buildings that fulfilled just technical function, now – they are the perfect background for art galleries, art centers, museums of technology, where the highlighted technologies of its times increase the attractiveness and diversity of these places.

3. PODSUMOWANIE

Opisane przykłady wpisują się w nowy trend w architekturze światowej: rewitalizacji starych, zaniedbanych budynków i zespołów obiektów pod kątem stworzenia galerii sztuki, centrum kultury, przy zachowaniu bryły, formy, detalu i zastanego oryginalnego wyposażenia.

Projektanci wszystkich wymienionych realizacji zachowali zastane układy i tkankę. Elementy nowo projektowane zostały zaakcentowane odmiennym materiałem, fakturą, kolorem, wprowadzeniem szkła, grą światła. Uporządkowano zaniedbane tereny wokół, stwarzając architektoniczny ład i porządek.

Przebudowa, modernizacja, zmiana przeznaczenia daje budynkom nowe życie. Obiekty popadające w ruinę, zawilgocone, zagrzybione, z odpadającymi tynkami stają się architektonicznymi perełkami miast. Odnowione elewacje, uporządkowane otoczenie, efektowne oświetlenie wydobywają latami skrywane walory architektoniczne.

Kiedyś budynki o funkcji technicznej, dzisiaj stanowią doskonałe tło dla galerii, centrów sztuki, muzeów techniki, gdzie wyeksponowanie ówczesnych

The successful adaptation of the buildings, preserving their historic character, has positive effect on the architectural space around the location. Neglected area turns into an urban space of a unique atmosphere. People are attracted by the distinctiveness and mystery of historic buildings, surprising interior designs, the combination of innovative engineering solutions with antique brick walls.

We should hope that there will be more and more successful revitalizations of neglected buildings that can help saving beautiful buildings from oblivion.

rozwiązań technicznych wpływa na podniesienie atrakcyjności i odmienności tych miejsc.

Udana adaptacja, zachowująca zabytkowy charakter obiektu, wpływa niezwykle korzystnie na tkankę architektoniczną miejsca, w jakim się on znajduje. Miejska przestrzeń w zamian zapomnianej ruiny zyskuje obszar o niepowtarzalnym klimacie. Ludzi przyciąga odmienność i tajemniczość zabytkowych budynków, zaskakujące rozwiązania wewnątrz, połączenie nowoczesnych rozwiązań inżynierskich z ceglanoymi zabytkowymi ścianami.

Należy mieć nadzieję, że udanych rewitalizacji ratujących piękne, zaniedbane budynki, będzie coraz więcej.

REFERENCES

- [1] Tatarkiewicz, W., „*Dzieje sześciu pojęć*”, Warszawa, PWN, 1988.
- [2] Source: herzogdemeuron.com
- [3] „Architektura – Murator” 07/2008, M. Kijak-Olechnicka based on Herzog & de Meuron.
- [4] Dżus Architekci s.c., „*Opis techniczny do projektu budowlanego*”.
- [5] Szczepański J., „*Architekci i budowniczowie. Materiały*”, Warszawa-Kraków, 1990.

Acknowledgments:

The work was financed by Kielce University of Technology, part of the statutory work No. 05.0.09.00/2.01.01.01.0003 MNSP.IKGO.17.003

Podziękowania:

Praca była finansowana przez Politechnikę Świętokrzyską, w ramach pracy statutowej nr: 05.0.09.00/2.01.01.01.0003 MNSP.IKGO.17.003

SUSTAINABLE DESIGN - NEW STANDARDS IN SPACE CREATION – A REVIEW OF THE SELECTED STUDENT WORKS

PROJEKTOWANIE ZRÓWNOWAŻONE – NOWE STANDARDY KSZTAŁTOWANIA PRZESTRZENI NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH PRAC STUDENCKICH

DOI: 10.30540/sae-2019-004

Abstract

Sustainable design in architecture is of prime importance due to civilisation, economic, environmental and social factors. Countries both in Europe, and also in other continents, have committed to take measures to limit the degradation of the natural environment. An architect plays a relevant role in creating the surrounding space. Students of the Kielce University of Technology are increasingly more interested in sustainable design, which can be seen in the designs they produce. In the paper, the author presents some students' works in which standards of sustainable design were successfully applied.

Keywords: sustainable design, students' designs

Streszczenie

Projektowanie zrównoważone w architekturze jest istotne ze względu na uwarunkowania cywilizacyjno-ekologiczne, ekonomiczne oraz społeczne. Kraje europejskie jak i kraje na różnych kontynentach świata podejmują zobowiązania ograniczające dewastację środowiska człowieka. Rola architekta w kształtowaniu przestrzeni zbudowanej jest istotna. Studenci Politechniki Świętokrzyskiej w coraz większym zakresie podejmują prace obejmujące zagadnienia projektowania zrównoważonego. Autor w artykule omawia kilka prac, w których przyszli architekci zastosowali z powodzeniem standardy projektowania zrównoważonego.

Słowa kluczowe: projektowanie zrównoważone, prace studenckie.

1. INTRODUCTION

The objectives of the course delivered in the field of study of Architecture were specified by the Kielce University of Technology. They include, among others, acquiring thorough knowledge on architectural and urban design, and also spatial planning. While developing designs of architectural objects, the students need to apply procedures, in which many factors have to be accounted for. Those factors concern functional, structural, technological and installation issues. Also, social, ergonomic, and safety aspects, and comfort of use must be dealt with. Students also have to be able to solve complex design problems, develop and execute research programs,

1. WPROWADZENIE

Cele kształcenia studentów na kierunku Architektura określone przez Politechnikę Świętokrzyską to m.in. nabycie zaawansowanej wiedzy z zakresu projektowania architektonicznego i urbanistycznego oraz planowania przestrzennego, stosowania procedur opracowania projektów obiektów architektonicznych z uwzględnieniem czynników funkcjonalnych, konstrukcyjnych, technologicznych, instalacyjnych, społecznych, ergonomicznych, bezpieczeństwa i komfortu użytkowania, nabycie umiejętności rozwiązywania złożonych problemów projektowych, opracowywania i realizacji programów badawczych, podejmowania przedsięwzięć o zasięgu międzynarodowym, uczest-

participate in international projects, and research activities related to architecture and urban planning. While preparing for, and responding to environmental hazards and energy crises, sustainable development was adopted as a basic strategy in space management. Construction industry is the biggest sector of economy, both due to financial reasons and also environmentally related issues, namely the flow of raw materials. Large chunks of capital, both financial and natural are invested in buildings. By creating social space architecture plays an important role and contributes to sustainable development. Architecture students at the Faculty of Civil Engineering and Architecture of the Kielce University of Technology are increasingly more interested in sustainable design while choosing their diploma subjects. That is congruent with European and global trends in shaping man's environment.

2. STANDARDS OF SUSTAINABLE ARCHITECTURE

The concept of sustainable development with respect to a building was first presented in Gävle in 1998 and published in Agenda 21 as a document entitled "Sustainable construction" [1].

The parameters for the design and execution of architectural objects are codified in specialist programs that are employed to assess buildings and issue certificates for them.

The following programs are widely recognized and considered to be prestigious:

- GreenBuilding is the European Commission programme. The standards established in it extend beyond narrowly understood energy efficiency concerns,
- BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) is a British programme for evaluating buildings. It has been in operation for several years, and is popular with the advocates of sustainable architecture mainly in the UK,
- LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) is an American system for building rating. LEED certification provides verification of green features of a building or its neighbourhood in more than 33 countries all over the world. The certificates are awarded by the US Green Building Council,
- Passivhaus programme, developed by the Passive House Institute in Darmstadt, Germany, defines the operational parameters for a passive building performance.

The European Commission has undertaken many initiatives on sustainable development and a particular

niczenia w badaniach w dziedzinach związanych bezpośrednio z architekturą i urbanistyką.

W okresie zagrożenia środowiska, kryzysów energetycznych zrównoważony rozwój stał się główną strategią działań w gospodarce przestrzennej. Budownictwo jest największym sektorem gospodarki w aspekcie ekonomicznym oraz pod względem ekologicznym - przepływu surowców. W budowie inwestuje się większość kapitału, zarówno finansowego jak i naturalnego. Rola architektury kształtującej przestrzeń społeczną w kreowaniu rozwoju zrównoważonego jest istotna. Studenci na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach na kierunku Architektura podejmują coraz chętniej tematy prac związanych z projektowaniem zrównoważonym co jest zgodne z europejskimi i ze światowymi tendencjami w kształtowaniu środowiska człowieka.

2. STANDARDY ARCHITEKTURY ZRÓWNOWAŻONEJ

Rzeczony zrównoważony w odniesieniu do budownictwa został po raz pierwszy przedstawiony w roku 1998 w Gävle i opublikowany w Agendzie 21 w dokumencie pt. „Zrównoważone budownictwo” [1].

Parametry projektowania i realizacji obiektów architektury kodyfikowane są w programach specjalistycznych oceniających i nadających budynkom certyfikaty.

Szczególnym zainteresowaniem i prestiżem cieszą się programy:

- „Grenn building” program Komisji Europejskiej, który ustalonymi standardami wychodzi poza wąsko rozumiany krąg problemów energooszczędności,
- „BREEAM” (*Building Research Establishment Assessment Method*) brytyjski program oceny budynków funkcjonujący od kilku lat w środowisku zrównoważonej architektury głównie w Wielkiej Brytanii,
- „LEED” (*Leadership in Energy and Environmental Design*) amerykański program prowadzący aktualnie procesy certyfikacyjne w ponad 33 krajach (certyfikaty przyznaje US Green Building Council) na różnych kontynentach,
- „Passivhaus” definiujący (Instytucie Domów Pasywnych w Darmstadt - Niemcy) parametry funkcjonowania „budynku pasywnego”.

Komisja Europejska podejmuje wiele inicjatyw w zakresie zrównoważonego rozwoju i szczególnej roli działalności architektonicznej. W roku 2008

role of architectural sector. In 2008, the Commission released *Council conclusions on architecture: culture's contribution to sustainable development* [2].

The standards of building assessment generally concern the so-called sustainable development triad [3, 4] i.e. specific conditions that are

- environmental,
- economic,
- social in character.

In the certification programmes of concern, the codified parameters of sustainable design involve the issues related to:

- energy efficiency of an architectural object and the use of renewable energy sources,
- efficiency of water supply and waste water management,
- efficiency of the use of materials and resources, and their being environmentally friendly,
- eco-friendly use of the land,
- local preferences and eco-friendly innovation.

While developing their designs, the University students analyse the issues mentioned above. The sustainable design analyses account for the whole life-cycle of a building, or a spatial complex taking up a given part of the natural environment. The building life-cycle comprises the design phase, the construction works, the use phase and possible refurbishments, and finally the disposal phase and land reclamation for a subsequent project.

In Poland, interest in certificates has been on the rise among design firms, developers and construction companies. Several designs and developments have undergone assessment and certification, which should be interpreted as a highly desirable trend. It is equally advisable to prepare Architecture students for taking into account sustainable design standards.

The author of the study made an attempt to systematize and codify the principles applicable to the assessment of an architectural object design. The system thus constructed aims at defining standards and parameters useful for sustainable design [5]. The students apply this system while developing their designs. While incorporating sustainability principles, architects acting as designers and the design process coordinators can see new tasks facing them, but also new opportunities opening up for them [6]. Close cooperation with interdisciplinary team members is required at all phases of a project. That is essential for the attainment of the objectives adopted. Students can get acquainted with such strategies due to individual instructions given by tutors from various scientific disciplines.

ogłosiła „Konkluzje Rady na temat architektury: udział kultury w zrównoważonym rozwoju” [2].

Standardy oceny budynków dotyczą generalnie tzw. triady zrównoważonego rozwoju [3, 4] tj. warunków

- ekologicznych,
- ekonomicznych,
- społecznych.

W analizowanych programach certyfikujących skodyfikowane parametry projektowania zrównoważonego koncentrują się na zagadnieniach związanych z:

- efektywnością energetyczną obiektu architektonicznego oraz wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii,
- efektywnością gospodarki wodno-ściekowej,
- efektywnością zużycia materiałów i surowców oraz ich proekologicznością,
- użytkowaniem terenu w sposób proekologiczny,
- preferencjami lokalnymi i proekologiczną innowacyjnością.

Zagadnienia te w procesie projektowania analizują w swych pracach studenci Politechniki.

W analizach projektowania zrównoważonego uwzględnia się pełny cykl funkcjonowania budynku, kompleksu przestrzennego obejmującego określony fragment środowiska. Cykl ten obejmuje etap projektowania, realizacji zadania projektowego, użytkowania i ewentualnych modernizacji oraz etap utylizacji i przywrócenia terenu dla nowych inwestycji.

W Polsce coraz więcej firm projektowych, deweloperskich i budowlanych ubiega się o certyfikat. Kilkanaście projektów i realizacji jest w trakcie procesu oceny i certyfikacji co jest tendencją niezwykle pożądaną. Równie pożądaną jest przygotowanie studentów kierunku architektura do uwzględniania standardów projektowania zrównoważonego.

Autor podjął próbę usystematyzowania i zebrania w system reguł postępowanie przy ocenie projektu obiektu architektonicznego. System ten stanowi próbę skodyfikowania standardów i parametrów przydatnych w projektowaniu zrównoważonym [5]. Z systemu tego korzystają studenci podczas opracowywania projektów.

Parametry zrównoważonego projektowania stawiają przed architektem jako projektantem i koordynatorem procesu projektowego - nowe zadania i otwierają nowe perspektywy [6]. Wymagana jest ścisła współpraca z projektantami zespołu interdyscyplinarnego na każdym etapie i jest ona kluczowa do osiągnięcia założonych celów. Próby takie podejmują studenci poprzez interdyscyplinarne konsultacje.

When a structure is designed, the principles of architectural creation should be observed. That involves harmonious integration of the building function into the environment [7], and also enhancement of the building energy performance and eco-friendly comfort of use.

Sustainable design applies a conscious approach to the structure physics and promotes energy and materials savings. Additionally, it is recommended to rely on the natural sources of energy available at the site, employ rational water management systems and emphasize eco-friendly relation to the urban surrounds.

A building design should be a resultant value produced by a multi-criteria analysis, in which each of the adopted solutions is accompanied by a simulation showing its effects [8].

The role of the architect is to provide the buildings with such values so that the harmony between the contents (technical and functional qualities) and the form of the building could be maintained. Architecture should bring in consistency among form, technology and a widely understood context (surrounds). The architect is not only a creator, but also a coordinator in a complex design process, whose task is to accommodate and balance opinions of various professionals, e.g. those responsible for the structural calculations, utilities and other systems, energy balance, building management, environmental and also economic aspects.

In the interdisciplinary design process, architect should always support Man who will become a user of the created space.

3. SUSTAINABLE ARCHITECTURE IN STUDENTS' DESIGNS

In the designs, also those developed as a partial fulfilment of the requirements for their degrees, students deal with different aspects of architectural design. The author's intension in the present paper was to focus on issues related to sustainable design in architecture. On many occasions, students became engaged in the tasks that involved the principles of sustainable design. The outcome of their work was presented at the University, and even in international fora.

It should be noted that students' attempts in this field may result in their deepening the subject knowledge. Consequently, a chance exists that in the future they will contribute to improved quality of life of the users of the buildings and architectural value of the objects.

Students get acquainted with and make use of the subject matter of the author's monograph entitled *Sustainable architecture and its standards on the*

Przy projektowaniu budowli powinny obowiązywać zasady kształtowania architektonicznego, zmierzające do najlepszego połączenia funkcji budynku z harmonijną integracją ze środowiskiem [7] oraz z dążeniem do podwyższenia sprawności energetycznej i ekologicznego komfortu użytkowania.

Projektowanie zrównoważone to świadome uwzględnianie reguł fizyki budowli, zasad oszczędności energetycznej i materiałowej, wykorzystanie naturalnych zasobów energetycznych otoczenia, racjonalna gospodarka wodą oraz preferowanie proekologicznej relacji z otoczeniem urbanistycznym.

Projekt budynku powinien być wartością wypadkową wielokryterialnej analizy, w której każde z rozwiązań poparte jest symulacją pozwalającą oszacować efekty przyjętych rozwiązań [8].

Rolą architekta jest nadanie takich wartości tworzonemu budowlom, aby stanowiły harmonię treści (zagadnienia techniczno-funkcjonalne) i formy budynku. Architektura powinna oznaczać harmonie pomiędzy formą, technologią a szeroko rozumianym otoczeniem. Architekt jako kreator i koordynator w skomplikowanym procesie projektowania musi pogodzić różnych specjalistów np. z zakresu konstrukcji, instalacji, bilansu energetycznego, zarządzania budynkiem, specjalistów od ekologii i ekonomii.

Architekt w interdyscyplinarnym procesie projektowania zawsze winien stać po stronie Człowieka jako użytkownika kreowanej przestrzeni.

3. ARCHITEKTURA ZRÓWNOWAŻONA W PROJEKTACH STUDENCKICH

Studenci w opracowaniach projektowych, jak również dyplomowych podejmują różnorodne zagadnienia dotyczące projektowania architektury. Zamierzam skupić się na obszarze zagadnień dotyczących projektowania zrównoważonego w architekturze. Studenci podejmowali niejednokrotnie zadania uwzględniające zasady projektowania zrównoważonego oraz prezentowali swoje dokonania na forum uczelnianym a nawet międzynarodowym.

Należy mieć świadomość, że próby podejmowane przez studentów mogą przyczynić się do dalszego pogłębiania ich wiedzy w tym zakresie i w konsekwencji do poprawy jakości życia przyszłych użytkowników jak również do poprawy walorów architektonicznych projektowanych budynków.

Studenci zapoznają się i wykorzystują w swych opracowaniach materiały zamieszczone w monografii autora *Architektura zrównoważona i jej standardy na przykładzie wybranych metod oceny* [5]. Na rysunku

example of the selected assessment methods [5]. A model of sustainable architecture object with reference to assessment criteria and established standards is presented in figure 1. The model, which is often cited in studies, provides a synthetic description of an architectural object and clarifies the issues involved.

1 umieszczono model obiektu architektury zrównoważonej w świetle kryteriów ocen i ustalonych standardów, który w sposób syntetyczny opisuje obiekt architektury, ułatwia zrozumienie problemu i jest często wykorzystywany w pracach studenckich.

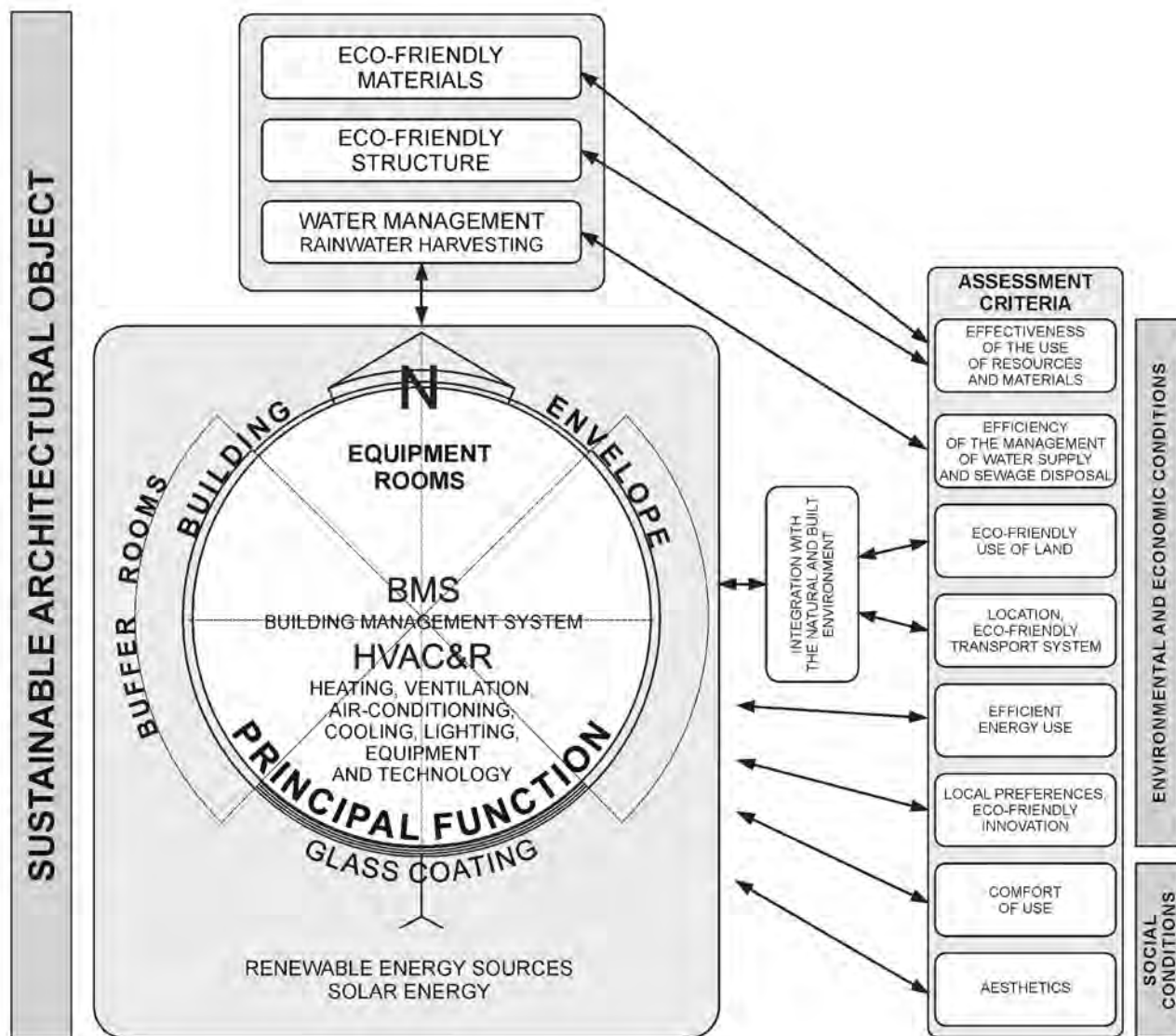


Fig. 1. The model of sustainable structure in the light of the assessment criteria and standards accepted [5]
Rys. 1. Model obiektu architektury zrównoważonej w świetle kryteriów ocen i ustalonych standardów [5]

As regards diverse subject matter dealt with in studies, the following design categories could be distinguished:

- high-rise office and apartment buildings,
- public buildings,
- multi-family residential buildings,
- detached residential buildings.

Spośród różnorodnej tematyki w podejmowanych pracach należy wyróżnić obszary dotyczące projektowania:

- budynków wysokich typu biurowo apartamentowego,
- budynków użyteczności publicznej,
- budynków mieszkalnych wielorodzinnych,
- zabudowy mieszkalnej indywidualnej.



Fig.2. Location of the office complex. The eastern part of Kielce (design by M. Gucwa)

Rys.2. Lokalizacja kompleksu biurowego (proj. M. Gucwa)

3.1. Designs of high-rise office and apartment buildings

As regards students' designs of high-rise office and apartment buildings, the diploma design developed by Michał Gucwa is worth presenting. The aim of the project was to create an object that would address requirements of sustainable design. That building had to be eco-friendly and economically viable. Additionally, it needed to follow ergonomics guidelines, and also show excellent performance and aesthetic values. The multi-functional high-rise building designed with sustainability-sensitive attitude by Michał Gucwa was located in the eastern part of Kielce, in the vicinity of the Galeria Echo, a commercial, service and entertainment centre, on a reclaimed brownfield site. The location was chosen after conducting architectural and urban analysis. The design shows an interesting spatial concept, in which the internal space is connected to the external space, and greenery plays an important role in the building operation (fig. 2.). The visualization of the designed building is shown in figure 3.

3.2. Multi-family residential buildings – regeneration of post-industrial areas on the example of the design of multi-functional district of the city of Kielce

The terrain of the multi-functional district of concern is located in the eastern part of Kielce. It lies immediately adjacent to the city boundary, in the vicinity of the village of Cedzyna. To the north, the area is enclosed by a trunk road (Świętokrzyska street), to the south, it is bounded by multi-family residential district called KSM. To the west, it extends along the Solidarności Avenue. On the other side of the avenue, recreational areas and the campus of the Kielce University of Technology, and also commercial, service and recreational centre of the Galeria Echo are found. The east boundary is formed by low-rise single-family buildings. The area of concern undergoes functional and spatial changes. That involves conversion of industrial and storage sites into new residential and commercial facilities. The area shows a high potential for forming new urban structure. When designing a multifunctional district on brownfield sites, student Marta Placha tried to apply the space creation principles resulting from urban community sustainable design. In the design, the vehicular and pedestrian traffic were separated. Walking and recreational venue for the residents links the designed district to green areas of other spatial entities (fig.4.)

3.1. Projekty budynków wysokich typu biurowo apartamentowego

Spośród wybranych projektów studenckich dotyczących budynków wysokich typu biurowo apartamentowego, zaprezentowano projekt dyplomowy Michała Gucwy. Celem projektu było stworzenie obiektu spełniającego wymogi projektowania zrównoważonego tj. budynku ekologicznego, ukształtowanego zgodnie z zasadami ergonomii, posiadającego wysokie walory użytkowe i estetyczne oraz spełniającego rygory ekonomiczne. Zrównoważony wielofunkcyjny wysokościowiec, zaprojektowany przez Michała Gucwę, po dokonaniu analiz architektoniczno-urbanistycznych został zlokalizowany na zrewitalizowanym terenie poprzemysłowym we wschodniej części miasta, w sąsiedztwie centrum handlowo-usługowo-rozrywkowego „Galeria Echo” w Kielcach. Zaprezentowano interesującą ideę przestrzenną, gdzie przestrzeń wewnętrzna łączy się z przestrzenią zewnętrzną, a zieleń jest czynnikiem integrującym odgrywającym istotną rolę w funkcjonowaniu budynku (rys. 2). Wizualizację projektowanego budynku przedstawiono na rysunku 3.

3.2. Budynki mieszkalne wielorodzinne - rekonstrukcja terenów poprzemysłowych na przykładzie projektu wielofunkcyjnej dzielnicy Kielce

Teren wielofunkcyjnej dzielnicy objęty opracowaniem jest zlokalizowany we wschodniej części Kielce, tuż przy granicy miasta, w sąsiedztwie miejscowości Cedzyna. Od północy ograniczony jest drogą szybkiego ruchu (ulica Świętokrzyska), zaś południową granicę stanowi dzielnica mieszkaniowa wielorodzinna KSM. Od zachodu działka graniczy poprzez Aleję Solidarności z terenami rekreacyjnymi Politechniki Świętokrzyskiej oraz centrum handlowo-usługowo-rekreacyjnym „Galeria Echo”. Wschodnią granicę stanowi zabudowa niska jednorodzinna. Teren objęty opracowaniem to obszar, gdzie zachodzą zmiany funkcjonalno - przestrzenne, które polegają na przekształceniu terenów przemysłowo – składowych na nowe funkcje np. mieszkalne, handlowe. Obszar ten charakteryzuje się dużym potencjałem w tworzeniu nowej struktury miejskiej. Studentka Marta Placha, projektując wielofunkcyjną dzielnicę na poprzemysłowych terenach starała się wykorzystać zasady kształtowania przestrzeni wynikające z projektowania zrównoważonego zespołów miejskich. Dokonała segregacji ruchu kołowego i pieszego. Utworzyła ciąg spacerowo rekreacyjny dla mieszkańców – łączący projektowaną zabudowę z terenami zielonymi innych jednostek przestrzennych (rys.4.)



Fig.3. Visualisation of the designed building - view from the Solidarności Ave. (design by M. Gucwa)

Rys.3. Wizualizacja projektowanego budynku od strony al. Solidarności. (proj. M. Gucwa)



Fig. 4. The designed multifunctional district of Kielce (design by M. Placha)

Rys. 4. Projektowana dzielnica wielofunkcyjna Kielc, (proj. M. Placha)

Creating the residential structure, Placha applied sustainable design principles.

The public space was integrated with the internal space. Solar access of buildings, leisure options, operation of the built environment and other facilities enhance the quality of life at the district under design (fig.5, 6)

4. SUMMARY

Students need to gain advanced knowledge on architectural and urban design, and also acquire skills necessary to solve complex design problems. The qualities sought among the people in this profession are readiness to deepen their knowledge, innovation-oriented attitude and creativity. Sustainable design methodology shows dynamic expansion. In the world, and also in Poland, the number of buildings with green certificates is on the rise. Development strategies in European and non-European countries have incorporated sustainable development. It is purposeful and important to include the issues related to sustainable space creation in students' designs. The

W tworzeniu struktury mieszkalnej kierowała się zasadami projektowania zrównoważonego.

Zintegrowała przestrzeń publiczną z przestrzenią wewnętrzną. Warunki nasłonecznienia, wypoczynku, sprawnego funkcjonowania obiektów jak i terenów sprzyjają w zaprojektowanym osiedlu jakości życia mieszkańców (rys. 5, 6)

4. PODSUMOWANIE

Studenci powinni zdobyć zaawansowaną wiedzę z zakresu projektowania architektonicznego i urbanistycznego a także nabyć umiejętność rozwiązywania złożonych problemów projektowych. Pogłębianie wiedzy, innowacyjność, kreatywność powinny być ich przymiotami. Metodologia projektowania zrównoważonego dynamicznie rozwija się. Na świecie ale także i w Polsce coraz więcej budynków otrzymuje certyfikaty proekologiczne. Założenia rozwoju krajów europejskich, ale także innych krajów na różnych kontynentach, zakładają rozwój zrównoważony. Podejmowanie tematyki kształtowania przestrzeni zrównoważonej w projektach studenckich jest celowe



Fig. 5. Exemplary solutions for residential space (design by M. Placha)

Rys. 5. Projektowana dzielnica wielofunkcyjna Kielce - wizualizacja (proj. M. Placha)



Fig. 6. Exemplary spatial solutions. Traffic separation. (design by M. Placha)

Rys. 6. Przykładowe rozwiązania przestrzenne, segregacja ruchu (proj. M. Placha)

skills they learn will allow them to be competitive, and also to contribute to harmonious development. In their future professional career, they will be able to employ those skills in the design process of the buildings and the surrounds to the benefit of the users. The quality of the space around us depends on architects.

i ważne. Umożliwia udział we współzawodnictwie na rzecz harmonijnego rozwoju. Nabyte umiejętności umożliwią w późniejszym życiu zawodowym wdrażanie wyuczonych idei w procesie projektowania i realizacji budynków z korzyścią dla użytkowników otaczającej nas przestrzeni. To od architekta zależy jej jakość.

REFERENCES

- [1] Final documents produced at the Congress: The CIB, World Building Congress 1998, 7-12 June 1998. Gävle, Sweden.
- [2] Official Journal of the European Union (2008/C 319/05).
- [3] Kamionka L.: *Sustainable architecture standards as a relevant factor for an economic city on the example of selected certification programmes*. (in Polish) Urban Design Institute Conference "Miasto oszczędne". Cracow 28-29.05.2010.
- [4] Wehle-Styrzelecka S.: *Solar architecture in a sustainable housing environment*. (in Polish). Monografie 312. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Krakow 2004.
- [5] Kamionka L.: *Sustainable architecture and its standards on the example of the selected assessment methods*. (in Polish) Monografie, Studia, Rozprawy, M30, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, Kielce 2012. PL ISSN 1897-2691.
- [6] Bennets H., Radford A.: *Understanding Sustainable Architecture*. London and New York. 2004
- [7] Kamionka L.: *Harmonised architecture in city space* (in Polish). Collective monograph. Architecture 3. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, Kielce 2016. PL ISSN 978-83-63792-39-8.
- [8] Niezabitowska E., Masły D. Collective work: *Quality assessment of the built environment and its relevance for the sustainable building concept* (in Polish). Gliwice 2007.

Acknowledgments:

The work was financed by Kielce University of Technology, part of the statutory work No. 02.0.07.00/2.01.01.01.0020 MNSP.BKAU.15.002

Podziękowania

Praca była finansowana przez Politechnikę Świętokrzyską, w ramach pracy statutowej nr: 02.0.07.00/2.01.01.01.0020 MNSP.BKAU.15.002



environment
environment



KAROL BARTOŚ
JANKA SABOVÁ
LUBOMIR KSEŇAK

The Technical University of Košice
e-mail: katarina.pukanska@tuke.sk

KATARINA PUKANSKÁ
PETER BLIŠTÁN
PAWEŁ FRĄCKIEWICZ

Kielce University of Technology
e-mail: pfrackiewicz@tu.kielce.pl

Manuscript submitted 2018.01.25 – revised 2018.12.13,
initially accepted for publication 2019.01.14, published in March 2019

3D MODELLING OF A COMPLEX CEILING CONSTRUCTION USING NON-CONTACT SURVEYING TECHNOLOGIES

MODELOWANIE 3D ZŁOŻONEJ KONSTRUKCJI STROPU PRZY ZASTOSOWANIU BEZDOTYKOWYCH METOD GEODEZYJNYCH

DOI: 10.30540/sae-2019-005

Abstract

Geodetic inventory of complex architectural complexes – technological facilities in industrial plants, refineries, complex constructions, buildings, etc. is a complex task. Inventory carried out with advanced measurement techniques requires synchronization of the apparatus, taking into account the specificity of the spatial structure of the object and local conditions, as well as the method of developing the results and visualizing the final effect. The article presents an example of surveying the complex structure of the ceiling in the „Food Court“ part of the Optima Shopping Center in Košice. The main purpose of this task was to demonstrate the usefulness of laser scanning, create a digital spatial model of a steel roof structure and make it available for further work. The measurement was made with a Leica ScanStation C10 laser scanner. The data processing was done in software: Leica Cyclone, Bentley Microstation V8i and Leica Cloudworx plug-in. The final effect of the inventory of the ceiling structure is presented in the form of a spatial CAD model.

Keywords: Terrestrial Laser Scanning (TLS), 3D Modelling

Streszczenie

Geodezyjna inwentaryzacja skomplikowanych kompleksów architektonicznych – obiektów technologicznych w zakładach przemysłowych, rafineriach, złożonych konstrukcjach, budynkach itp. jest złożonym zadaniem. Inwentaryzacja wykonywana zaawansowanymi technikami pomiarowymi wymaga zsynchronizowania aparatury, uwzględnienia specyfiki przestrzennej konstrukcji obiektu i lokalnych uwarunkowań, a także sposobu opracowania wyników i wizualizacji końcowego efektu. W artykule przedstawiono przykład geodezyjnego badania złożonej konstrukcji stropu w części „Food Court” w Centrum Handlowym Optima w Koszycach. Głównym celem tego zadania było wykazanie przydatności skaningu laserowego, stworzenie cyfrowego przestrzennego modelu stalowej konstrukcji dachowej i jego udostępnianie do dalszych prac. Pomiar został wykonany skanerem laserowym Leica ScanStation C10. Obróbka danych została wykonana w oprogramowaniach: Leica Cyclone, Bentley Microstation V8i i Leica Cloudworx plug-in. Końcowy efekt inwentaryzacji konstrukcji stropu przedstawiono w postaci przestrzennego modelu CAD.

Słowa kluczowe: naziemny skanowanie laserowe, modelowanie 3D

1. INTRODUCTION

Shopping centers are important objects of public space that concentrate various areas of human social life. Most of these objects are very complicated constructions with a lot of installations, decorations and various types of materials used.

The gallery space requires constant changes. Before making any decisions about the direction of works, you must have the documentation of an existing object. Design and as-built documentations are usually developed in paper form and do not coordinate all industries. The designer requires detailed information about the building being rebuilt to match all decorative elements to the existing structure while maintaining its safety and stability.

Inventory of the ceiling structure is traditionally performed with a spatial polar method that uses reflectorless total stations. The method is time-consuming and subjective. The disadvantage of the classical method is the risk of omitting characteristic points [2, 4].

The inventory of the objects in question are also of little use photogrammetric methods. However, they allow the measurement of large surface areas, but a large number of architectural elements, which are mutually obscuring, make it difficult to use.

An effective alternative to both methods is terrestrial laser scanning. The technology that can be defined as non-contact surveying method that uses a laser beam in the active non-selective way to measure a dense cloud points. The measurements are made in a short time and can be supplemented with photographic information. The scanning method allows you to study surfaces rather than individual points, and the data obtained is so extensive that it allows you to create a digital spatial structure model.

The aim of the work was to demonstrate the usefulness of laser scanning technology for measuring complex construction, 3D modeling and making results available for further project work in „open source“ software on the example of the ceiling at the Optima Shopping Center (Slovakia).

2. THE IMPORTANCE OF THE ACCURACY OF STRUCTURE MEASUREMENTS IN THE ASPECT OF ARCHITECTURAL DETAILS

Shopping centers are an example of complex constructions for which the preparation of a 3D model is a very difficult task. The structural layout

1. WPROWADZENIE

Centra handlowe są ważnymi obiektami przestrzeni publicznej, które koncentrują różne obszary życia społecznego człowieka. Większość takich obiektów to bardzo skomplikowane konstrukcje, z dużą ilością instalacji, dekoracji oraz różnego typu zastosowanych materiałów.

Przestrzeń galerii wymaga ciągłych zmian. Przed podjęciem jakichkolwiek decyzji o kierunku prac należy posiadać dokumentację istniejącego obiektu. Dokumentacje projektowe i powykonawcze z reguły opracowane są w formie papierowej i nie koordynują wszystkich branż. Projektant wymaga szczegółowych informacji o przebudowywanym obiekcie, aby dopasować wszystkie elementy dekoracyjne do istniejącej konstrukcji, przy zachowaniu jej bezpieczeństwa i stabilności.

Inwentaryzację konstrukcji stropu tradycyjnie wykonuje się przestrzenną metodą biegunową wykorzystującą tachimetrie bezlustrkowe. Metoda jest czasochłonna i subiektywna. Wadą metody klasycznej jest ryzyko pominięcia charakterystycznych punktów [2, 4].

W inwentaryzacji przedmiotowych obiektów mało przydatne są również metody fotogrametryczne. Jakkolwiek pozwalają na pomiar rozległych powierzchni, ale duża ilość elementów architektonicznych, wzajemnie się przysłaniających, utrudnia jej stosowanie.

Efektywną alternatywę dla obu wymienionych metod stanowi metoda naziemnego skaningu laserowego. Technologię tą możemy zdefiniować jako bezkontaktową metodę geodezyjną, wykorzystującą aktywną wiązkę laserową w nieselektywny sposób do pomiaru gęstej chmury punktów. Pomiary są wykonane w krótkim czasie i mogą być uzupełniane o informacje fotograficzne. Metoda skaningu pozwala na badania powierzchni, a nie pojedynczych punktów, a pozyskane dane są na tyle obszerne, że pozwalają na utworzenie cyfrowego przestrzennego modelu konstrukcji.

Celem wykonanych prac było wykazanie przydatności technologii skaningu laserowego do pomiaru złożonej konstrukcji, modelowania 3D oraz udostępniania rezultatów do dalszych prac projektowych w oprogramowaniu „open source” na przykładzie stropu w Centrum Handlowym Optima (Słowacja).

2. ZNACZENIE DOKŁADNOŚCI POMIARÓW KONSTRUKCJI W ASPEKcie DETALI ARCHITEKTONICZNYCH

Centra handlowe stanowią przykład złożonych konstrukcji, dla których przygotowanie modelu 3D jest bardzo trudnym zadaniem. Układ konstrukcyjny takich budynków jest z reguły prosty i powtarzalny,

of such buildings is usually simple and repeatable, the construction of a detailed model complicates the number of decorative elements and running installations. Due to diversity, complexity and large area in order to carry out modernization works, it is recommended to treat the facility as a whole with its installations and equipment [1].

The scope of architectural inventory is regulated by technical guidelines, which indicate which structural elements should be measured [7, 8]. However, at the stage of operation in relation to a specific construction, this range is specified by the designer or designer who develops an opinion on the condition of the object.

Establishment of the object inventory is the responsibility of the owner of the building and is carried out on his behalf. In the case of a shopping center, its closure in order to carry out measuring works generates significant losses. The examination of the current object's condition must be carried out in a short time and often with the full functioning of this type of object.

3. LASER SCANNING

Terrestrial Laser Scanning (TLS) due to its availability and accuracy is now treated as a standard geodetic survey technique. With obvious advantages, this technique has several significant disadvantages which are different for each type, i.e. triangulation, pulse and phase scanners. There is no universal laser scanner for all possible applications and measurement conditions. The accuracy of distance measurement depends on the intensity of the laser beam, which is mainly affected by distance, angle of incidence and surface properties. An important factor are instrumental errors of scanners caused mostly by errors in angular resolution and distance accuracy. Additionally, the trend of production of geodetic instruments and their sale without checking them and minimizing instrumental errors leads to the need to examine the device. The device should be checked according to non-standard procedures [3, 5].

In acquiring scanning data, the technology of the High-Definition Surveying (HDS) precision measurement system, that is, high-resolution measurements, occupies a special place. Laser scanners create huge files in a very short time, which may contain inaccurate or incorrect data. That's why HDS technology helps generate the model with solutions, modules and scanning technologies tailored to the type of the object.

to zbudowanie szczegółowego modelu komplikuje ilość elementów dekoracyjnych oraz przebiegających instalacji. Z powodu różnorodności, stopnia złożoności oraz dużej powierzchni w celu prowadzenia prac modernizacyjnych zalecane jest traktowanie obiektu, jako całości wraz z jego instalacjami oraz wyposażeniem [1].

Zakres inwentaryzacji architektonicznej regulują wytyczne techniczne, które wskazują, jakie elementy konstrukcji należy pomierzyć [7, 8]. Jednak na etapie eksploatacji w odniesieniu do konkretnej konstrukcji zakres ten uściśla konstruktor lub projektant opracowujący opinię o stanie obiektu.

Sporządzenie inwentaryzacji obiektu spoczywa na właścicielu danego budynku i wykonywane jest na jego zlecenie. W przypadku centrum handlowego jej zamknięcie w celu przeprowadzenia prac pomiarowych generuje znaczne straty. Zbadanie stanu aktualnego obiektu musi być przeprowadzone w krótkim czasie i niejednokrotnie przy pełnym funkcjonowaniu tego typu obiektu.

3. SKANING LASEROWY

Naziemny skanowanie laserowe (Terrestrial Laser Scanning – TLS), z uwagi na swą dostępność i osiągi dokładnościowe, jest obecnie traktowany jako standardowa technika inwentaryzacji geodezyjnej. Przy oczywistych zaletach technika ta ma kilka istotnych wad, które są różne dla skanerów triangulacyjnych, impulsowych oraz fazowych. Nie ma uniwersalnego skanera laserowego do wszystkich możliwych zastosowań i warunków pomiaru. Dokładność pomiaru odległości zależy od intensywności wiązki laserowej, na którą głównie wpływa odległość, kąt padania i właściwości powierzchni. Istotnym czynnikiem są błędy instrumentalne skanerów spowodowane najczęściej błędami w rozdzielczości kątowej oraz dokładnością odległości. Dodatkowo trend produkcji instrumentów geodezyjnych i ich sprzedaży bez ich sprawdzenia oraz minimalizacji błędów instrumentalnych prowadzi do konieczności zbadania urządzenia. Sprawdzenie przyrządu należy wykonać według niestandardowych procedur [3, 5].

W pozyskiwaniu danych skanujących szczególne miejsce zajmuje technologia precyzyjnego systemu pomiarowego High-Definition Surveying (HDS), czyli pomiarów o dużej rozdzielczości. Skanery laserowe w bardzo krótkim czasie tworzą ogromne zbiory, które mogą zawierać niedokładne lub błędne dane. Dlatego technologia HDS wspomaga generowanie modelu rozwiązaniami, modułami i technologiami skanowania dopasowanymi do danego typu obiektu.

Among the advantages of scanning technology, although still of secondary importance, qualitative type information obtained from the intensity of the reflected laser signal deserves attention. In some cases, it is also effective to combine scanning measurements with observations and phototexture made with a built-in photographic camera [9].

4. SCANNING OF THE COMPOSITE CEILING STRUCTURE

The measurements were taken during the opening hours of the gallery. The measurement was made with a Leica ScanStation C10 panoramic impulse scanner (Fig. 1) measuring 50,000 points/sec (Tab. 1). The scanner's accuracy was checked and no irregularities in its functioning were detected.



Wśród zalet technologii skanowania, jakkolwiek wciąż o drugorzędnym znaczeniu, na uwagę zasługują informacje typu jakościowego pozyskiwane na podstawie intensywności odbitego sygnału laserowego. W niektórych przypadkach efektywne jest również scalać pomiary skaningowych z obserwacjami i fototeksturą wykonaną wbudowaną kamerą fotograficzną [9].

4. SKANOWANIE ZŁOŻONEJ KONSTRUKCJI STROPU

Pomiary wykonano w godzinach otwarcia galerii. Wykonano je panoramicznym, impulsowym skanerem Leica ScanStation C10 (rys. 1) mierzącym z prędkością 50 000 punktów/sek. (tab. 1). Sprawdzo- no dokładność pracy skanera i nie wykryto żadnych nieprawidłowości w jego funkcjonowaniu.

Fig. 1. Terrestrial laser scanner Leica ScanStation C10

Rys. 1. Naziemny skaner laserowy Leica ScanStation C10

Table 1. Technical parameters of the Leica ScanStation C10

Tabela 1. Parametry techniczne Leica ScanStation C10

Technical specification of the laser scanner	
Accuracy of single measurement	
Position/Distance	6 mm/4 mm
Angle precision	
Horizontal/Vertical	12"/12"
Modeled surface precision	2 mm
Range	300 m $\approx$ 90%; 134 m $\approx$ 18%
Minimal step of scanning	1 mm
Scan rate	50 000/sec.
Laser class	3R, green ($\lambda = 532$ nm)
Spot size	0-50 m $\approx$ 4,5 mm
Field of view	
Vertical/Horizontal	270°/360°

The scanning was carried out from 5 measuring stations arranged evenly around the perimeter of the shopping center area so that the least obscured areas were created. The forced centering method was used to eliminate centering errors and the racks

Skanowanie wykonano z pięciu stanowisk pomiarowych rozmieszczonych równomiernie na obwodzie obszaru centrum handlowego, tak aby powstało jak najmniej przysłoniętych obszarów. Zastosowano metodę wymuszonego centrowania w celu wyelimi-

were secured during the entire measurement before moving through the metal holders. The location of the measurement stations is shown in Figure 2, where the blue arrows show the directions orientating from the measurement positions to the Leica HDS 6" shield targets. The measurement resolution was 2 x 2 cm / 10 m, to give a composite point cloud from around 60 million points. All measurements were developed in the local coordinate system, whose origin was specified in the first station No. 5001. The accuracy of the scanner orientation is shown in table 2. Coordinate vector differences and length between position and reference in comparison to HDS coordinates after loading into Leica Cyclone software. The maximum differences do not exceed 3 mm.

nowania błędów centrowania oraz zabezpieczono statywy podczas całego pomiaru przed przesuwaniem przez metalowe uchwyty. Rozmieszczenie stanowisk pomiarowych pokazano na rysunku 2, gdzie niebieskie strzałki przedstawiają kierunki orientujące ze stanowisk pomiarowych na tarcze celownicze Leica HDS 6". Zastosowano rozdzielczość pomiaru 2 x 2 cm / 10 m, uzyskując chmurę punktów złożoną z około 60 milionów punktów. Wszystkie pomiary zostały opracowane w lokalnym układzie współrzędnych, którego początek określono w pierwszym stanowisku nr 5001. Dokładność zorientowania skanera przedstawiono w tabeli 2. Zestawiono różnice wektorowe współrzędnych oraz długości pomiędzy stanowiskiem i nawiązaniem w porównaniu ze współrzędnymi HDS po wczytaniu do oprogramowania Leica Cyclone. Maksymalne różnice nie przekraczają 3 mm.

Table 2 Accuracy of position orientation and reference

Tabela 2 Dokładność zorientowania stanowiska i nawiązania

Station	Backsight	Δx [m]	Δy [m]	Δz [m]	Δd [m]
5001	5002	0,000	-0,001	0,003	0,003
5002	5001	0,000	0,000	0,000	0,000
5003	5004	0,000	0,000	0,000	0,000
5004	5005	0,000	0,000	0,001	0,001
5005	5001	0,000	0,000	0,000	0,000

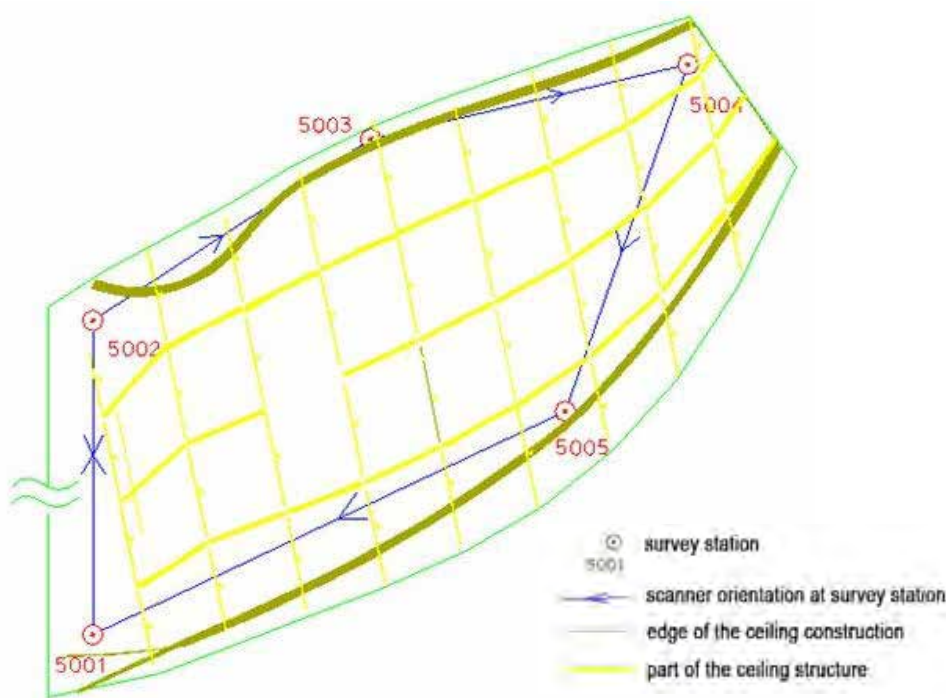


Fig. 2. The survey situation

Rys. 2. Sytuacja pomiarowa

5. DEVELOPMENT OF THE 3D MODEL

The registration of the point cloud in a common coordinate system, i.e. spatial transformation and database creation, was carried out in the Leica Cyclone 7.3 software. Computer modeling of the measured roof structure in the Microstation V8i software and Leica Cloudworx 4.0 (Fig. 3). Leica Cloudworx is a plug-in that allows you to work with a point cloud database - data import, trimming unnecessary points, generating cross-sections and computer modeling of digital models.

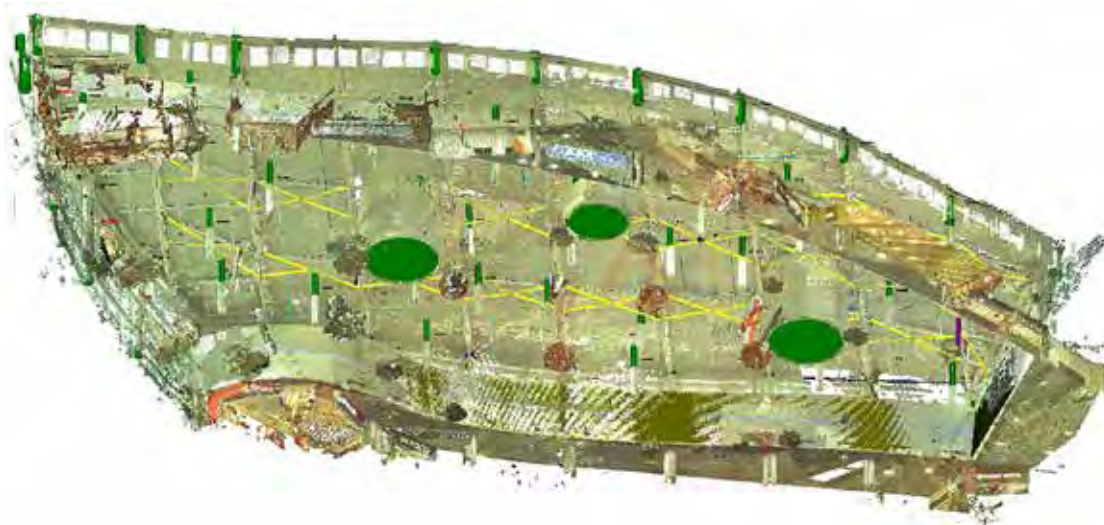


Fig. 3. Point cloud of the ceiling construction, isometric view

Rys. 3. Chmura punktów konstrukcji stropu, widok izometryczny

After importing the measured points, it was necessary to edit the point cloud and remove unnecessary points (equipment of individual stores and restaurants, decorations, visitors, etc.). The subject of CAD modeling were load-bearing parts of the steel structure of the ceiling, rods, location of fire detectors, size and location of lighting - chandeliers and a plastic decorative wall located above the restaurant area (Fig. 4, 5). The modeling itself was implemented as a fully automated process using the matching functions based on the least squares method. The applied software allows modeling of a specific type of surface (surface or cylindrical surface) based on a certain spatial accuracy. An accuracy of 6 mm has been applied because it is the measurement accuracy of a single measured point given by the manufacturer. Values exceeding the accepted criterion are treated as gross errors, which are mainly caused by repeated reflections of the laser beam, etc.

5. OPRAWOWANIE MODELU 3D

Rejestrację chmury punktów we wspólnym układzie współrzędnych, tj. transformację przestrzenną i utworzenie bazy danych zrealizowano w oprogramowaniu Leica Cyclone 7.3. Modelowania komputerowego pomierzonej konstrukcji dachu wykonano oprogramowaniem Microstation V8i i Leica Cloudworx 4.0 (rys. 3). Leica Cloudworx to wtyczka umożliwiająca pracę z bazą danych chmury punktów – import danych, przycinanie niepotrzebnych punktów, generowanie przekrojów poprzecznych i komputerowe modelowanie cyfrowych modeli.

Po zaimportowaniu pomierzonych punktów konieczna była edycja chmury punktów i usunięcie zbędnych punktów (wyposażenie poszczególnych sklepów i restauracji, dekoracji, odwiedzających itp.). Przedmiotem modelowania CAD były części nośne konstrukcji stalowej stropu, pręty, położenie detektorów ognia, wielkość i położenie oświetlenia – żyrandole i plastikowa ściana dekoracyjna zlokalizowana nad obszarem restauracji (rys. 4, 5). Samo modelowanie zrealizowano jako w pełni zautomatyzowany proces wykorzystujący funkcje dopasowania oparte na metodzie najmniejszych kwadratów. Zastosowane oprogramowanie pozwala na modelowanie określonego typu powierzchni (płaszczyzny lub powierzchni walcowej) w oparciu o określoną dokładność przestrzenną. Zastosowano dokładność na poziomie 6 mm, ponieważ jest to dokładność pomiaru pojedynczego pomierzonego punktu podana przez producenta. Wartości przekraczające przyjęte kryterium są traktowane jako błędy grube, których źródłem są przede wszystkim wielokrotne odbicia wiązki laserowej itp.

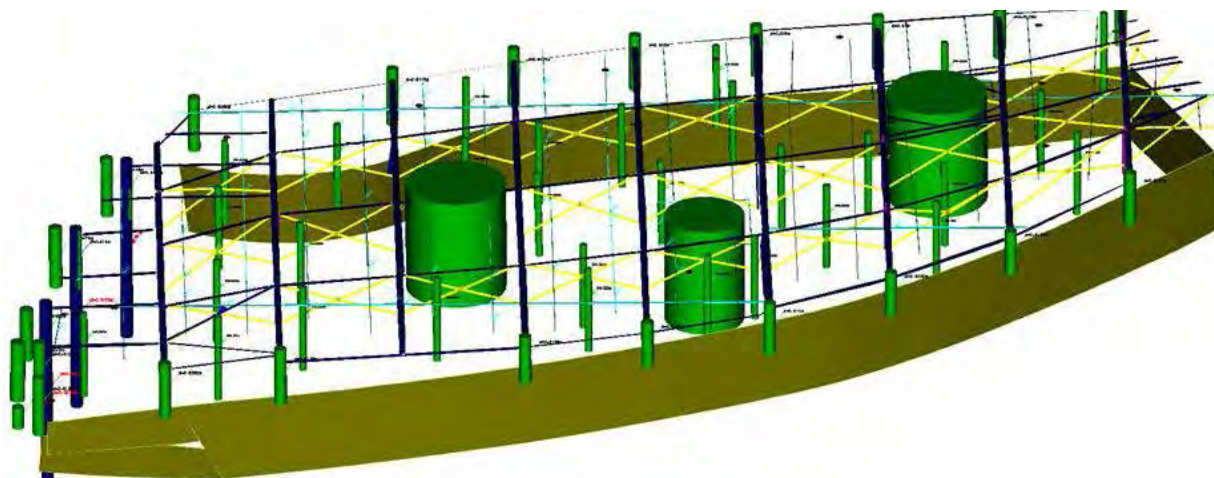


Fig. 4. Isometric view of the ceiling construction digital model

Rys. 4. Widok izometryczny cyfrowego modelu konstrukcji stropu

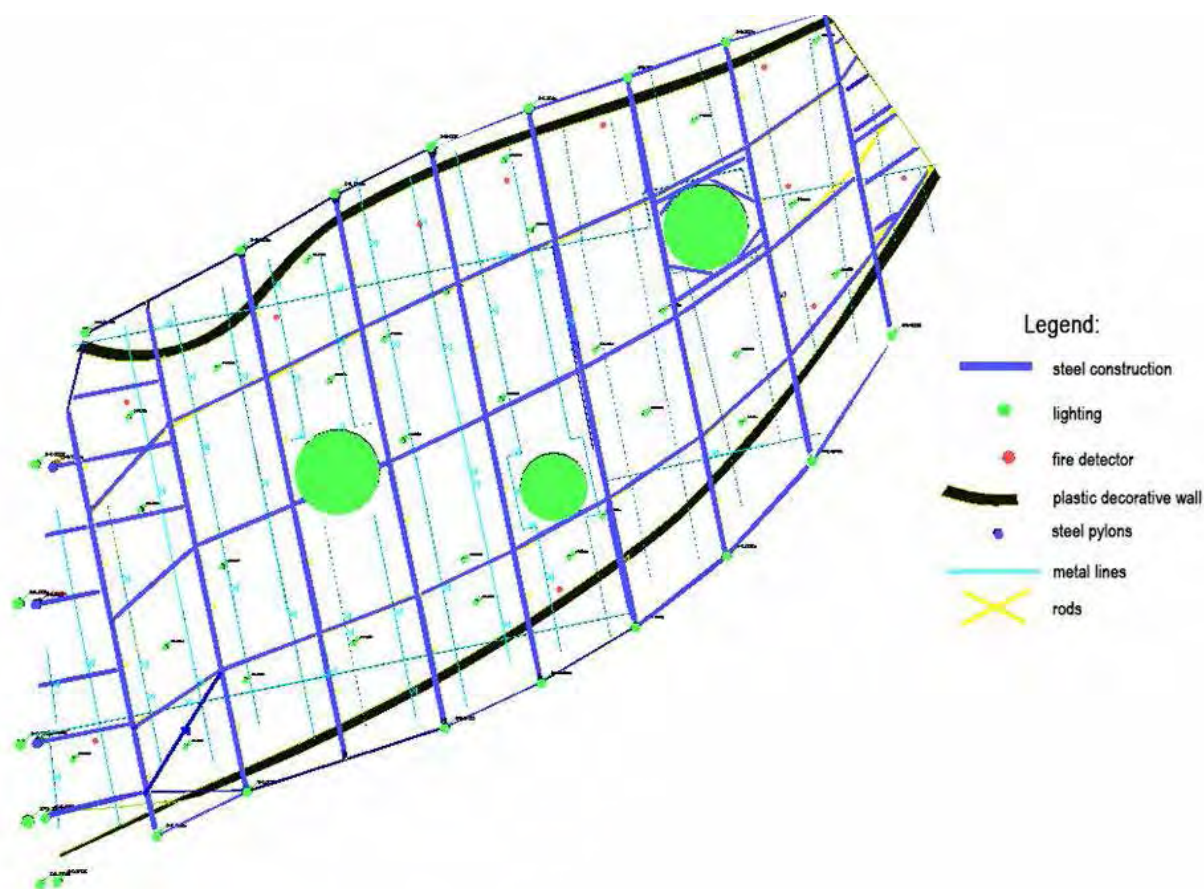


Fig. 5. Top view of the ceiling construction digital model

Rys. 5. Widok z góry cyfrowego modelu konstrukcji stropu

The accuracy control of the 3D model obtained from laser scanning can be carried out on the basis of control measures, eg coordinates of details, obtaining the absolute accuracy of the model or the length of sections, obtaining the mutual precision

Kontrolę dokładności modelu 3D uzyskanego ze skaningu laserowego można przeprowadzać na podstawie miar kontrolnych np. współrzędnych szczegółów, uzyskując dokładność bezwzględną modelu, lub długości odcinków, otrzymując dokładność wzajemną

of the elements [10]. Another option is to compare the received model with the reference model based on project documentation or other measurement methods [11]. The correctness of the generated 3D model was checked by comparing the length of the sections between the model and real measures. The difference in the tested measures in none of the cases exceed the accepted criterion of 6 mm accuracy.

6. PUBLISHING A 3D MODEL OF TRUEVIEW PUBLISHER

Leica Cyclone software allows to publish and share the measured and processed data using the TrueView Publisher and Windows Explorer for other co-workers without the need to have a licensed Leica Cyclone software installed on the computer. It uses a web interface where data intended for publishing are stored. The obtained model can be enlarged, moved, rotated from individual shots. Available tools allow you to read coordinates, distances between points, and you can write common notes about a project. After processing and supplementing the model with the necessary information, the TrueView software allows for distribution of the task principal model (Fig. 6).

elementów [10]. Inną możliwością jest porównanie otrzymanego modelu z modelem referencyjnym na podstawie dokumentacji projektowej lub innych metod pomiarowych [11]. Poprawność wygenerowanego modelu 3D sprawdzono, porównując długości odcinków pomiędzy modelem oraz miarami rzeczywistymi. Różnica w badanych miarach w żadnym z przypadków nie przekraczała przyjętego kryterium dokładności 6 mm.

6. PUBLIKOWANIE MODELU 3D W TRUEVIEW PUBLISHER

Oprogramowanie Leica Cyclone pozwala na publikowanie i udostępnianie pomierzonych oraz przetworzonych danych innym współpracownikom za pomocą TrueView Publisher i Windows Explorer bez konieczności posiadania zainstalowanego na komputerze licencjonowanego oprogramowania Leica Cyclone. Program wykorzystuje interfejs internetowy, w którym przechowywane są dane przeznaczone do publikacji. Otrzymany model może być powiększany, przesuwany, obracany z poszczególnych ujęć. Dostępne narzędzia umożliwiają odczytanie współrzędnych odległości między punktami oraz można zapisywać wspólne uwagi dotyczące projektu. Po przetworzeniu i uzupełnieniu modelu o potrzebne informacje oprogramowanie TrueView pozwala na dystrybucję modelu zleciennodawcy zadania (rys. 6).

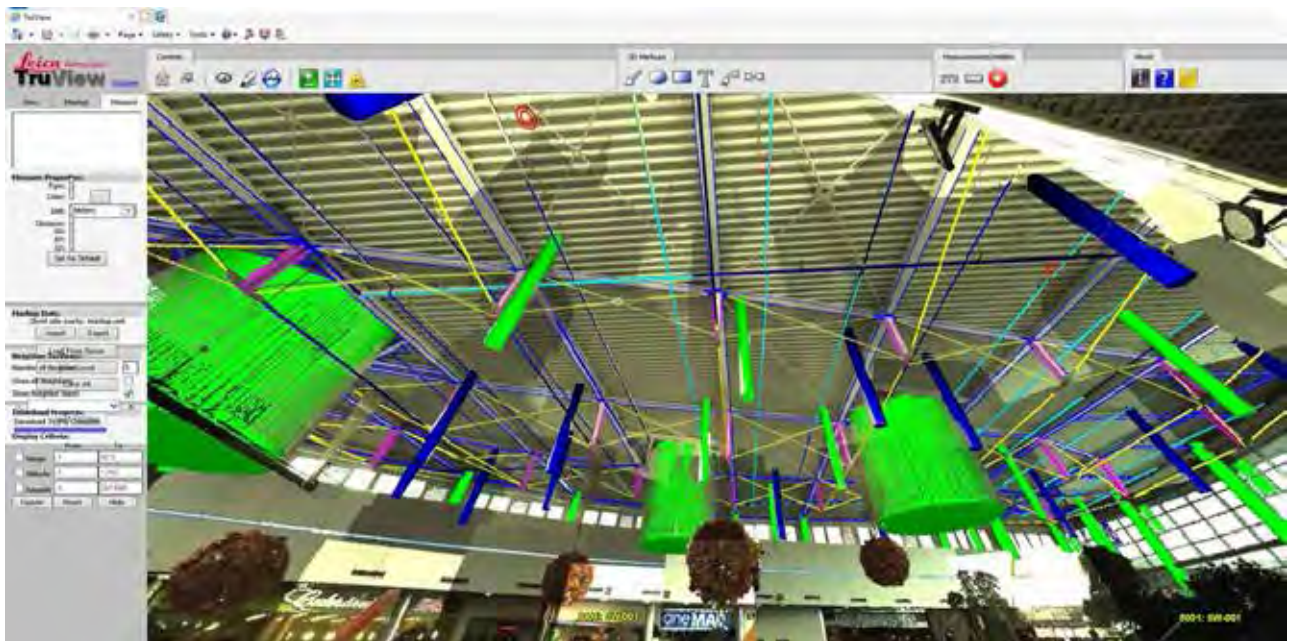


Fig. 6. Leica TrueView Publisher working environment

Rys. 6. Środowisko pracy Leica TrueView Publisher

7. CONCLUSION

Scanning technology is now a standard geodetic practice tool. It is irreplaceable in the case of dangerous, inaccessible or complex industrial facilities. It is constantly being improved in terms of measurement accuracy, scope of scanners and simplicity in the development of measured data.

The method of laser scanning is an effective method of object inventory, however labor-intensive at the stage of data processing. In a short time it makes it possible to describe the whole surface, not individual points. Generated 3D model published in the TrueView Publisher can be enriched with additional information at the stage of implementation of various works, it can be a reference model for subsequent measurements and to monitor damage and deformation.

The measurement confirmed the effectiveness of HDS technology. The use of HDS discs gives a good effect, provided that during the measurement they are visible from all positions of the scanner. In the first place, when creating the model, we combine scans based on the dials, and then based on the corresponding points, the so-called. homological points. The applied method allowed to achieve the accepted criterion of 6 mm accuracy.

The use of laser scanning for measuring complex, unusual construction, 3D modeling and sharing the obtained model is useful. Due to different types of scanners, instrumental errors should be made, because not always observations and tips for measuring non-standard structures will be helpful when using a different instrument.

7. WNIOSKI

Technologia skanowania jest obecnie standardowym narzędziem praktyki geodezyjnej. Jest niezastąpioną w przypadku niebezpiecznych, niedostępnych lub złożonych obiektów przemysłowych. Jest wciąż udoskonalana w zakresie dokładności pomiaru, zakresu skanerów i prostoty opracowywania mierzonych danych.

Metoda skaningu laserowego jest efektywną metodą inwentaryzacji obiektów, jakkolwiek pracochłonna na etapie przetwarzania danych. W krótkim czasie umożliwia opisanie całej powierzchni, a nie pojedynczych punktów. Wygenerowany model 3D opublikowany w TrueView Publisher można wzbogacać o dodatkowe informacje na etapie realizacji różnych prac, może stanowić model referencyjny dla kolejnych pomiarów oraz do monitorowania uszkodzeń i deformacji.

Wykonany pomiar potwierdził efektywność technologii HDS. Zastosowanie tarcz HDS daje dobry efekt, pod warunkiem że w trakcie pomiaru są widoczne ze wszystkich stanowisk skanera. W pierwszej kolejności przy tworzeniu modelu łączymy skany w oparciu o tarcze, a następnie w oparciu o punkty sobie odpowiadające, tzw. punkty homologiczne. Zastosowana metoda pozwoliła na osiągnięcie przyjętego kryterium dokładności 6 mm.

Zastosowanie skaningu laserowego do pomiaru złożonej, nietypowej konstrukcji, modelowania 3D oraz udostępniania otrzymanego modelu jest przydatne. Ze względu na różne typy skanerów, występujących błędów instrumentalnych należy prowadzić pomiary testowe, ponieważ nie zawsze spostrzeżenia i wskazówki dotyczące pomiaru nietypowych konstrukcji będą pomocne przy zastosowaniu innego instrumentu.

REFERENCES

- [1] Abmayr T., Hartl F., Reinkoster M., Frohlich C., *Terrestrial Laser Scanning – Applications in Cultural Heritage Conservation and Civil Engineering*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, 2005, Vol. XXXVI, Part 5/W17.
- [2] Kraus K.: *Photogrammetry, Geometry from Images and Laser Scans. 2nd edition*, Walter de Gruyter GmbH, Berlin Germany, 2007, s. 457.
- [3] Menna F., Troisi S., *Low Cost Reverse Engineering Techniques For 3D Modelling of Propellers*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2010, Vol. XXXVIII, Part 5, s. 452-457.
- [4] Pavelka K.: *Fotogrametrie 3. Digitálne metódy a laserové skenovanie*. ČVUT, Praha, 2008, s. 190.
- [5] Schulz T., Ingesand H., *Terrestrial Laser Scanning-Investigations and Applications for High Precision Scanning*, Konferencja FIG Working Week, 22-27 May 2004, Ateny.
- [6] Štroner M., Pospíšil J., Koska B., Křemen T., Urban R., Smítka V., Třasák P., *3D skenovací systémy*. ČVUT, Praha, 2013, s. 394.
- [7] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane (Dz.U. z 2018 r., poz. 414, j.t.)
- [8] Ustawa nr 50/1976 Coll. – Prawo budowlane (Słowacja).
- [9] Vatan M., Oğuz Selbesoğlu M., Bayram B.: *Wykorzystanie technologii skanowania 3D w konserwacji obiektów zabytkowych*. „Wiadomości Konserwatorskie“, 26/2009.

- [10] Zámečníková M., *Testovanie terestrických laserových systémov*. Dizertačná práca, STU Bratislava, 2006, s. 165.
- [11] Zawieska D., Klimkowska A., *Analiza dokładności kształtu modelu elementu przemysłowego pozyskanego ze zdjęć cyfrowych i skaningu laserowego*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 2010, Vol. 21, s. 493-502.

Acknowledgments:

The work was financed by Kielce University of Technology, part of the statutory work No. 05.0.09.00/2.01.01.01.0014. MNSP.IKGG.14.001

This work was supported by project SKHU/1601/4.1/187 and by the Scientific Grant Agency of the Slovak Republic (VEGA – MŠVVaŠSR) through project. No. 1/0844/18.

Podziękowania:

Praca była finansowana przez Politechnikę Świętokrzyską, w ramach pracystatutowej nr: 05.0.09.00/2.01.01.01.0014. MNSP.IKGG.14.001

Praca była wspierana z projektu SKHU/1601/4.1/187 oraz przez Naukową Agencję Grantową Republiki Słowackiej (VEGA – MŠVVaŠ SR) za pośrednictwem projektu. Nr 1/0844/18.



KASSAYE GUDETA DEYASSA
University of Bergen, Norway
e-mail: kde001@uib.no

Manuscript submitted 2019.01.02 – revised 2019.02.04,
initially accepted for publication 2019.02.14, published in March 2019

THE EFFECTIVENESS OF ISO 14001 AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM – THE CASE OF NORWEGIAN FIRMS

EFEKTYWNOŚĆ ISO 14001 I SYSTEMU ZARZĄDZANIA ŚRODOWISKIEM – PRZYPADEK FIRM NORWESKICH

DOI: 10.30540/sae-2019-006

Abstract

Organizations use standards to help them manage their activities to comply with regulations and help prevent, mitigate, and control adverse environmental impacts. ISO 14001 is an international standard for environmental management that provides a framework for addressing these responsibilities. The purpose of this study was to examine the relationship between the organization's primary motivation for the adoption of ISO 14001 and the value creators perceived through the implementation of the Environmental Management and Business Management Standard. The study used the data from the International Organization for Standardization 2013 ISO 14001 Continuous Improvement Survey and the survey results of the participants. It used an existing theoretical model and attempts to improve understanding of how contextual factors influence the outcomes of the ISO 14001 system. The descriptive results are consistent with the statements in the literature that external pressure and stakeholder legitimacy are the main causes for the introduction of ISO 14001.

Keywords: Environmental Management, Environmental Management System, Organizational management, ISO 14001

Streszczenie

Organizacje wykorzystują normy w celu pomocy w zarządzaniu ich działaniami, tak aby stosować się do regulacji i pomóc zapobiegać, łagodzić skutki i kontrolować niekorzystne wpływy środowiska. 14001 jest normą międzynarodową nt. zarządzania środowiskiem, która zawiera narzędzia do wypełnienia tych celów. Zadaniem niniejszej pracy było zbadanie zależności między podstawową motywacją danej organizacji do przyjęcia ISO 14001 a postrzeganą wartością, związaną z wprowadzeniem Zarządzania Środowiskowego i Standardem Zarządzania Biznesowego. W pracy wykorzystane dane Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej: „2013 ISO 14001 Continuous Improvement Survey” i wyników badań uczestników. Wykorzystano istniejący, teoretyczny model i próby zrozumienia, jak czynniki kontekstowe wpływają na wyniki wg ISO 14001. Wyniki opisowe są zgodne z danymi literaturowymi, że głównie presja zewnętrzna i interesariusze wpływają na wprowadzenie ISO 14001.

Słowa kluczowe: zarządzanie środowiskiem, system zarządzanie środowiskiem, zarządzanie organizacyjne, ISO 14001

1. INTRODUCTION

Environmental management is a branch of organizational management that focuses on managing and controlling an organization's impacts on the environment and related issues in the surrounding community. Global economic growth and increased consumption, without parallel developments in environmental resource management, have intensified global environmental degradation in recent decades (Sinding, 2000). Industrial environmental management has become increasingly critical, yet increasingly

challenging due to transnational industrial networks, environmental impacts that transcend localised borders and boundaries, and limitations of traditional, state-based environmental regulations.

Environmental management systems are a systematic approach to environmental management that ultimately aims to improve the environmental performance of a business. Environmental management systems (EMSs) have evolved at national and international level as decentralized, voluntary environmental programs as a result of economic globalization and increasing external

pressure on businesses in environmental matters (Levy and Dinopoulos, 2016). The International Organization for Standardization's ISO 14001 standard has become dominant in this area due to its widespread adoption and acceptance in the industry. As a policy tool, ISO 14001 has been praised for transcending regulatory borders and close gaps in international environmental governance, enhancing environmental performance on a global scale, reduce environmentally-related information asymmetry, and facilitate trade. It has also been criticized as a private-sector vehicle for greenwashing (Coglianese & Nash, 2002; Raines, 2006), and as a costly and administratively-burdensome scheme that is only suitable for large organizations (Van Der Veldt, 1997). Research suggests that it can add value to organizations and produce positive environmental performance results, yet as a process-based standard, ISO 14001 provides no such guarantees.

2. LITERATURE REVIEW

2.1. Environmental management

Environmental management is a misunderstanding: it is said that the retention of control over the environment is meant by name, while realistically only ways can be found to manage human interactions with the environment considering natural systems and environmental conditions. Within the profession of environmental management, this means managing the impact of man and industry on the environment – ultimately managing institutions and people, with a measurable outcome in environmental performance, in conjunction with the impact of an organization on the natural environment (Peng, 2014; Krut & Gleckman, 1998; Morelli, 1999).

Environmental management has also evolved from its inception into a profession, from a more isolated, reactive and ad hoc role, focused on ensuring regulatory compliance and pollution control, to a more proactive preventive function, embedded in the organization and integrated into the business processes and responding to stakeholder concerns (Peng, 2014; Greenwood, Rosenbeck and Scott, 2013). Although regulatory compliance management and environmental know-how remain an important issue, the profession focuses more on environmental sustainability and corporate social responsibility (Bootsma & Vermeulen, 2011, Greenwood et al., 2013).

Environmental management has been recognized in modern organizations as “partially professionalized practices” (Lippert et al., 2015), with competence

expectations regarding education, professional certifications and environmental knowledge for entry or progress in this area. In 2016, the Association for the Development of Sustainability in Higher Education (AASHE) included in its academic program database at least 318 courses related to environmental management in business, economics, engineering, law, science, global studies, education, geography and urban planning disciplines (AASHE, 2016). Friedman (1992) argues that technicians before and in the early days of the environmental movement mainly dealt with environmental issues in the industry, as this was considered unimportant. As a result of the environmental change, environmental management has gained increasing attention in the business context, and by the early 1990s, at least 25 business schools had included environmental issues in their curricula (Friedman, 1992).

2.2. Environmental Management System

An environmental management system (EMS) is a systematic and structured approach for the prevention, mitigation and control of the adverse environmental consequences of an organization's activities, products, and services (see Figure 1). It involves a formalized set of processes for planning, implementation, monitoring and review of an organization's activities aimed at delineating how an organization will manage its impacts on the environment and those who depend on it, and at improving an organization's overall environmental performance (Daddi et al., 2011; Fiorino, 2004, 2006; Mazurek, 2004; Sroufe et al., 1998).



Fig. 1. EMS Model for Continual Improvement (adapted from Duijm et. al. 2008)

Environmental performance is based on measurable results related to affected environmental conditions, such as air or water quality, as well as conditions and indicators relative to the organization, such as reductions in emissions and releases, or consumption of energy.

Performance relative to the EMS can also relate to management activities that can influence environmental performance, such as environmental awareness, training, and competency development (ISO, 2013b).

Management systems target what Hansen (2006) refers to as transactional and transformational change in an organization. Transaction changes are reflected in initiatives that change organizational roles, process systems, and administrative practices. Transformational changes are revealed at a higher level through changes in corporate culture, values, and leadership. For example, environmental management systems include setting organizational goals and goals, as well as changing environmental performance rules and procedures that represent transactional changes. Management systems also involve internal policy-setting, leadership commitments and responsibilities, and establishing processes for employee education and awareness, and internal and external communication. The resulting manifestation of leadership and accountability, along with flows of environmental management information can ultimately shape pro-environmental behavior and change organizational culture, representing transformational change (Greenwood, 2010; King, Lenox, & Terlaak, 2005). Some studies suggest that the quality of the EMS and thus the extent to which an organization can leverage its EMS toward transformational change depends on the organization's internal characteristics and structure, its motivations for adoption, and the extent to which it internalizes the EMS (Deepa Aravind & Christmann, 2008; Balzarova & Castka, 2008; M. Delmas & M. W. Toffel, 2004; Gonzalez-Benito & Gonzalez-Benito, 2008; Qi, Zeng, Li, & Tam, 2012).

2.3. Standards for environmental management system

Levy and Dinopoulos, (2016) describe standards as a behavioral measure and expectation of authority. According to Mitchell (2003), the adoption of a standard implies "the agreement to be bound by the established measures" (page 432). According to the 1995 National Technology Transfer and Advancement Act (NTTAA), this includes design-specific technical specifications and the corresponding rules of conduct for management systems. Management system standards are management standards for the design and management of aspects of organizations (Furusten, 2000; Heras-Saizarbitoria & Boiral, 2013). They are meta-standards because they do not require particular requirements for a task or product but contain a set of design rules that apply to broad processes or disciplines

(Boiral, 2001, Uzumeri, 1997). Meta-standards are basic requirements, such as: Which subsystems are required, but in the case of management system standards, users can determine how they are operationalized in the context of the organization (Corbett & Yeung, 2008, Endres, 2010, Uzumeri 1997).

An EMS standard aims to institutionalize responsible management of environmental impacts in the business by embedding it in the organization's routines and operating patterns, including its environmental commitments, responsibilities, and resource allocations as well as its procedures, processes, and daily activities (Anon, 2002; Coglianese and Nash, 2002; Qi et al., 2012). It is a component of the organization's overall management strategy that enhances the organization's understanding of its effects and interactions with the environment (Morelli, 1999). Qi et al. (2012) describe this process of embedding the values and attitudes of the organization in their management and culture as "internalization".

2.4. ISO standards

ISO 14001 is ISO's core, foundational environmental management standard. Consistent with the missions of ISO and ISO/TC 207, ISO 14001 is intended to aid organizations in recognizing, managing and improving their interactions with the environment, and to enhance communication and recognition of environmental aspects and information across borders (ISO/TC207, 2013; Van Der Veldt, 1997). The standard was first published in 1996 and is arguably the world's leading standard for environmental management systems due to its worldwide acceptance and recognition. More than 325,000 organizations, including businesses, communities, service organizations and faith communities in 170 countries, have independent ISO 14001 certification, and it is estimated that many other organizations, including government agencies, adopt the standard without undergoing certification (ISO, 2014, ISO / TC207, 2013). In the United States, over 6500 organizations held ISO 14001 certification, covering just over 6900 physical sites, as of 2014 (ISO, 2014). After 20 years since ISO 14001's introduction, it remains a contested issue as to whether or not the Standard can fulfil its promise of environmental performance improvement. ISO 14001 sets rules for environmental management system design and development in firms but does not prescribe specific operations, product requirements, or environmental performance targets to be achieved (Eng Ann, Zailani, & Abd Wahid, 2006; Uzumeri, 1997).

ISO 14001 outlines the requirements for setting up, implementing and maintaining a system to achieve environmental goals and manage environmental impacts within an organization, addressing organizations of all types, sizes and geographic locations. The intended outcomes of ISO 14001 include meeting legal and other organizational requirements and improving environmental performance. Many Norwegian companies have adopted the international standard ISO 14001 for environmental management systems as an instrument for achieving environmental management, sustainability and social responsibility (2015).

The standard describes the required characteristics and subsystems of an EMS as a foundation for continual improvement, whereby adopting organizations have considerable flexibility in determining how to develop the system adequately and effectively within the specified framework. An adopting organization must implement environmental policy, objectives, and planned actions that address its unique set of environmental impacts and legal and other environmental requirements, and they must monitor and measure the system's effectiveness, identify and solve problems, and conduct reviews aimed at improving the system. It is based on the Deming-Shewhart Plan-Do-Check-Act (PDCA) model for continual improvement. Figure 2 provides an overview of the significant components of ISO 14001.

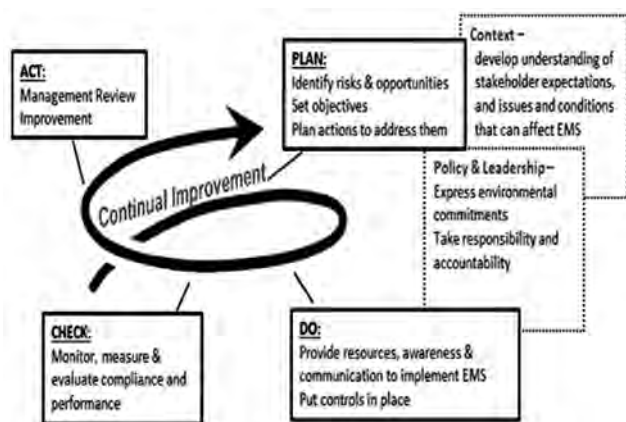


Fig. 2. ISO 14001 System Components (adapted from Duijm et. al. 2008)

An organization has flexibility in the goals it sets and how it implements the Standard; however, it also has the responsibility to establish and pursue its goals within the context of applicable legal requirements and performance standards, as well as relevant environmental commitments and stakeholder concerns.

2.5. Effect of the organization's motivation for ISO 14001

The first section of the study focuses on the relationship between the organization's primary motivations for implementing ISO 14001, and the level of value added that users perceive when implementing the environmental management and management standard. Under an ISO 14001 framework, organizations can differ significantly in the ambitiousness of the objectives they set and in their environmental performance outcomes (Brouwer & van Koppen, 2008; Coglianese & Nash, 2002; Nawrocka & Parker, 2009). Institutional theory offers possible insights on firm motivations for adopting ISO 14001 as a driver that produces variability in EMS performance-related outcomes.

The body of literature on ISO 14001 suggests several important internal and external drivers for its adoption that correspond well to the motivations identified in ISO's 2013 Continual Improvement Survey. These include external pressures and mandates from customers, regulators, and parent companies (Andrews et al., 2003; M. A. Delmas & M. W. Toffel, 2004; Morrow & Rondinelli, 2002; Perkins & Neumayer, 2010; Tung et al., 2014); internal motivations related to environmental risk reduction, improving public image, cost savings, and integration with other management standards (Andrews et al., 2003; M. A. Delmas & M. W. Toffel, 2004; Florida & Davison, 2001; Morrow & Rondinelli, 2002); and normative internal motivations related to environmental protection and conservation (Daddi et al., 2011; Bansal and Roth, 2000).

Some motivations are oriented in environmental responsibility and driven by values and ethics, including the firm's commitment to environmental protection and conservation. Some may be determined by perceived internal efficiency and economic benefits, including cost savings, financial interests, and opportunities for integration with other management standards adopted by the organization, such as quality systems, occupational safety and health systems, energy management, or social responsibility. Different motivations are based on external pressures or the need for strategic or stakeholder legitimacy. Survey participants were asked to rank the following factors that influenced their adoption of ISO 14001 in order of importance:

- public image,
- customer requirement,
- government/regulatory agency requirement,

- commitment to environmental protection and conservation,
- reduction of risk related to adverse environmental impact,
- cost savings/financial benefit, and
- ways to integrate with other management standards applied by the organization (such as ISO 9001, ISO 50001, ISO 26000, OHSAS 18001).

3. METHODOLOGY

This study applied mixed methods including analysis of secondary data from ISO's 2013 ISO 14001 Continuous improvement survey followed by open, semi-structured interviews with respondents to examine how contextual factors such as motivation, size, and EMS maturity can affect the environmental and business value of ISO 14001. Survey data were analyzed using linear regression to examine relationships among user motivations, organization size, and the age of the EMS, and the nature and extent of value users gained from ISO 14001 implementation. Interviews with survey participants were used to follow up on survey responses and collect qualitative data. The methodology provides background on the ISO Survey, describes the research methods and models used in the research, and includes demographic information on survey and interview participants.

3.1. The ISO 14001 survey

In 2013, ISO and the British Standards Institute (BSI) surveyed ISO 14001 users and other interested parties to gain understanding and collect data for continual improvement of the Standard including user motivations for implementing ISO 14001. The benefits of implementation realized by users regarding the nature and extent of the value they gained, and perspectives of users and interested parties concerning potential incorporation of a selection of sustainability and social responsibility concepts identified as future challenges for environmental management (Greenwood, 2013). Response formats included multiple choice, ranking, and Likert-scale ratings, as well as open text comments relative to each major section of the questionnaire.

The survey generated close to 5000 responses in 110 countries, with 54% of responses current, past and potential users, 17% of organizations that have no interest in implementation, mainly from consulting firms or certification bodies, and 29% from other interested parties, including consultants,

examiners and scientists. In Norway alone, there were 230 responses, of which 140 (61%) were current or former users of ISO 14001. Other answers came from consultants, certification bodies and researchers who were interested in the standard but had not implemented it. The survey was accessible for three months on ISO's website, and recruitment was accomplished through ISO publications, certification body and consultancy communications to affiliates, and through national survey leaders appointed by ISO's national member bodies (NMBs). Within Norway, the survey leaders worked through the Norwegian Accreditation, which serves as administrator for Norwegian NMB, to recruit participants. Norwegian Accreditation disseminated the survey information and provided access to the questionnaire through its April 2013 issue of Quality Progress and its online Knowledge Centre (Norwegian Accreditation, 2013) and issued recruitment emails to TAG 104 members in March 2013 (Admussen, 2013). The Norwegian Accreditation Board, which oversees accreditation of ISO 14001 certification bodies and auditors in Norway, also issued a recruitment communique to its affiliates in March 2013.

3.2. Semi-structured interviews

In addition to data collection and quantitative conclusions based on the ISO Survey, this study included qualitative research based on interviews of Norway survey participants to follow up on their responses and provide broader perspectives on the dynamics and extent of value gained from ISO 14001 implementation, including contributing factors and constraints. The quantitative results were used to guide the qualitative research, and while the survey analysis provided answers and insights on the surface, the interviews allowed for a complete picture and offered a broader view into what was going on "on the ground" in ISO 14001 implementation, and why.

Open-ended, semi-structured interviews were conducted with ISO 14001 users in Norway who completed the survey questionnaire, agreed to be contacted regarding their responses, and agreed to participate further in the study. Fifty of the 140 Norway participants provided contact information for possible follow-up and were approached by email for recruitment. Nineteen survey participants continued more also in the study as interview subjects, representing 38% of those providing contact information. Interviews were conducted July – September 2018.

3.3. Model

For analytical purposes, factor choices were classified according to Bansal and Roth's (2000) model of environmental responsiveness, as primarily related to (1) environmental responsibility; (2) competitiveness; or (3) external pressure and legitimacy (legitimation). Bansal and Roth's model of corporate ecological responsiveness classifies firms' initiatives to reduce adverse impact on the environment based on their underlying motivations: completeness, legitimacy, or social responsibility. Under this model, firms motivated by competitiveness undertake environmental initiatives for the sake of improving long-term profitability and competitive advantage, framing environmental initiatives as business opportunities that will yield higher profits or lower costs through improved eco-efficiency (Bansal and Roth, 2000).

Following Bansal and Roth's model, the primary motivations indicated in the ISO Survey related to a business opportunity or cost efficiency benefits were classified under competitiveness. Motives associated with providing legitimacy or credibility with stakeholders were categorized under legitimation, using Suchman's terminology, which addresses actions aimed at gaining, maintaining, or defending legitimacy, from strategic and institutional perspectives (Deephouse & Suchman, 2008; Suchman, 1995). Those oriented in environmental values or ecological ethics were classified under environmental responsibility, equivalent to Bansal and Roth's characterization of social responsibility. Table 1 indicates the classification of motivations for adopting ISO 14001 from the ISO Survey, based on Bansal and Roth's model.

Table 1. Organizational Motivations for Adopting ISO 14001 – Adapted from Bansal and Roth (2000)

Motivations for ISO 14001 Adoption		
Environmental Responsibility (Normative, ethical)	Competitiveness (Internal benefit)	Legitimation (Pressure legitimacy)
Rationale: It is the right thing to do and supports firm values	Rationale: Provides economic opportunity or business strategy	Rationale: Provides legitimacy or credibility with stakeholders
• Commitment to environmental protection and conservation	• Cost savings/financial benefit • Opportunities for integration with other management standards applied by the organization	• Customer requirement • Government/regulatory agency requirement • Public image • Reduction of risk related to adverse environmental impact

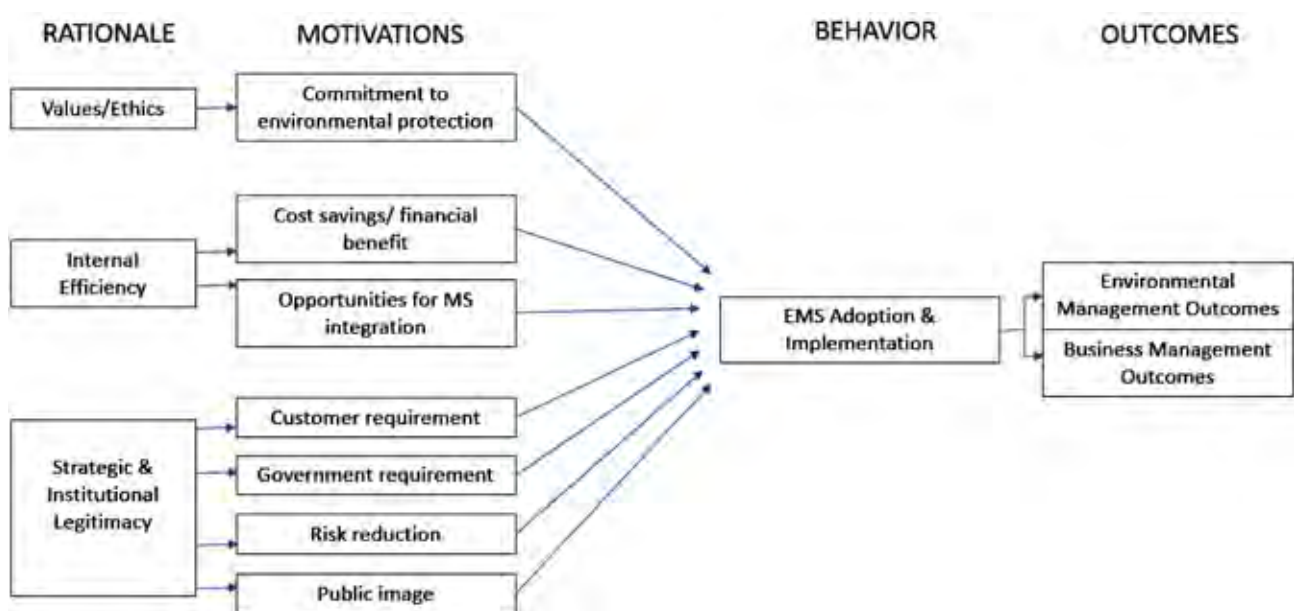


Fig. 3. Research Model – Motivations for ISO 14001 Adoption and Effects on EMS Outcomes (Adapted from Bansal and Roth, 2000)

The EMV and BMV results were then compared, respectively, among these motivation classifications using linear regression to determine whether the nature of the organization's primary motivation for adoption was a significant driver of the degree of value users gained. Figure 3 illustrates the research model based on user motivations for adopting ISO 14001.

4. FINDING

From an institutional point of view, this section of the study examines the relationship between the primary motivations of an organization for the introduction of ISO 14001 and the benefits they derive from implementation. To what extent does the primary motivation of an organization for the introduction of ISO 14001 influence the value that they gain in the context of environmental management and the value they generate regarding business management?

The institutional theory suggests that organizations with external pressure and legitimacy-related motivation receive less value through the introduction of ISO 14001 than their partners with more internal motives. Overall, the findings suggest that Norwegian firms are gaining significant value for corporate management and environmental management through the introduction of ISO 14001, but are not deciding whether the motivation for adoption is a strong determinant. While companies that implemented ISO 14001 primarily under legitimacy pressure consistently indicated a lower implementation value than companies with environmental responsibility or competitiveness motivation, statistical analysis did not openly support the relationship between motivation and generally derived business management value. Participant interviews provided insights into the complexity behind an organization's motivation to adopt ISO 14001, as well as the involvement of management as a critical factor in EMS outcomes.

Simon (1956) applied the term "satisficing" as a decision-making approach that involves choosing an option that is "good enough" rather than optimal, especially when faced with multiple, potentially conflicting goals. At least in the short term, the costs of satisficing are perceived to be lower than the costs of optimizing (Winter, 2000), and firms may have incentives for taking actions that are strategically beneficial in some way but aren't optimal in other ways (Dixon, 2001). Taken with neo-institutional perspectives, this suggests that an organization's

motivation for implementing an EMS will have a direct effect on its outcomes. A firm with coercive or legitimacy-driven motives for adopting ISO 14001 may be more likely to opt for ceremonial or symbolic implementation as a means to meet its legitimacy needs while deciding not to internalize the EMS within its daily operations fully.

Hart (1995) maintains that business strategy will increasingly need to account for interactions with the natural environment and be based on capabilities that support environmentally sustainable activities. Effective EMS implementation hinges on top management support and employee competency and engagement related to operations that can have a significant impact on the environment, and a ceremoniously implemented system is likely to be weak in these areas. Despite the increasing need to establish and internalize effective systems for environmental management, legitimacy-seeking, ceremonious adopters are less likely to improve the nature of their interactions with the environment significantly, compared to those with more internally-driven or normative motivations.

4.1. Results for motivation and ISO 14001 values

Survey Analysis

The descriptive results are consistent with the statements in the literature that external pressure and stakeholder legitimacy are the main causes for the introduction of ISO 14001. Around 63% of respondents said that factors in this category had the most significant impact on their performance Introduction of ISO 14001. The relationship between motivation and the level of corporate governance gained through the introduction of ISO 14001 showed that companies motivated primarily by external pressure and legitimacy contributed 5.6% to company's Environmental responsibility and a value 11.1% lower than companies with motives indicated internal competitiveness. Regarding environmental management value, companies motivated by external pressure and legitimacy were 4.2% lower in value than companies motivated by environmental responsibility and 11.2% lower in value than companies driven by internal environmental performance Competitiveness were motivated.

However, the results for both EMV and BMV were not statistically significant, based on the input variables of interest at $\alpha = .05$. So, while there may be less EMS value associated with exogenous motivations, given

the overlap in confidence intervals for the means for each motivation type, there was no conclusive evidence to support the research hypotheses. The detailed results and the p-value results for value-motivation significance tests are shown in Table 2. Boxplots of the motivation type vs summed EMV and BMV results are shown in Figure 4.

Semi-structured Interview Results

The results of the interviews indicated that ISO 14001 provides added value to environmental management and employee engagement in environmental management, reduction and control of adverse environmental impacts, and environmental compliance. Participants indicated that improving the impact and ensuring compliance was primarily due to the infrastructure provided by the Standard for Consistency, Continuity and Visibility, including standardized procedures and processes, and a structured and organized approach Way to plan the environmental aspects of an organization and tackle activities.

This is consistent with survey results for individual environmental value variables. The top four items that participants indicated as areas where ISO 14001 implementation provided environmental management value were as follows:

- management commitment to environmental management,
- environmental performance improvement,
- ability to meet legal requirements, and
- Employee engagement.

Around 90% of respondents said that implementing ISO 14001 for these individual factors is at least a moderate value. Besides, 73% indicated that commitment to environmental management was high to very high, 67% stated that the improvement in environmental performance was strong to very high, and 65% was high to very high for regulatory compliance and 58% High value was a too high value for employee engagement. Figure 5 shows the overall survey results for each of the factors that make up the environmental management value variable.

Table 2. Motivations vs ISO 14001 Value Gained Descriptive Results and Significance

Motivation		N	Mean	St. Dev.	p-value
EMV	Internal Competitiveness	9	0.6944	0.1742	0.421
	Environmental Responsibility	88	0.6246	0.1801	
	External Pressure/Legitimacy	162	0.5825	0.2037	
BMV	Internal Competitiveness	9	0.6435	0.1399	0.226
	Environmental Responsibility	88	0.5885	0.1791	
	External Pressure/Legitimacy	162	0.5321	0.2141	

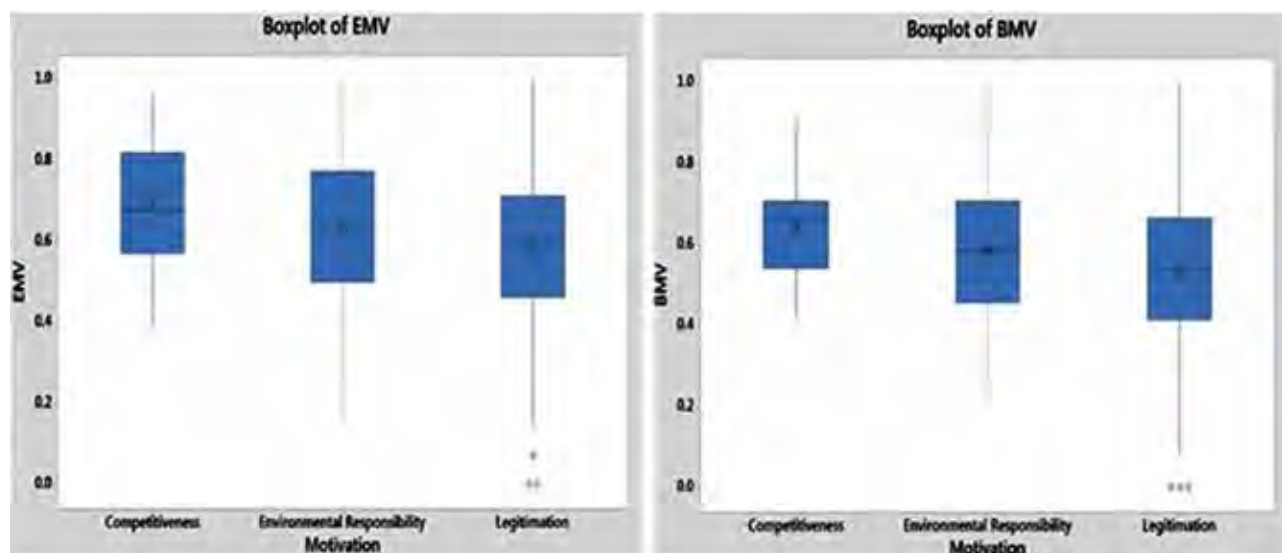


Fig. 4. Main Effect Boxplots of Motivation vs. Summated EMV and BMV

Interview participants also noted systematic and structural benefits concerning business management. ISO 14001 provided an underlying structure for consistency, continuity, and succession, which helped organizations to avoid disruption related to environmental risk management and legal compliance and facilitated the achievement of strategic objectives. Several participants felt that the environmental management benefits they realized had in turn provided tangible value for business management, regarding reduced costs through pollution prevention, and improved efficiency from the integration of

environmental management processes with related business processes. However, participants who indicated that management in their organizations had not embraced ISO 14001 and was mostly doing the minimum needed to maintain certification suggested that the only business management value from the Standard was related to customer retention or public image. Compared to the responses to the overall survey, achieving the strategic goals and meeting stakeholder requirements was the single highest value of corporate value added, with over 80% of respondents reporting at least a modest score and

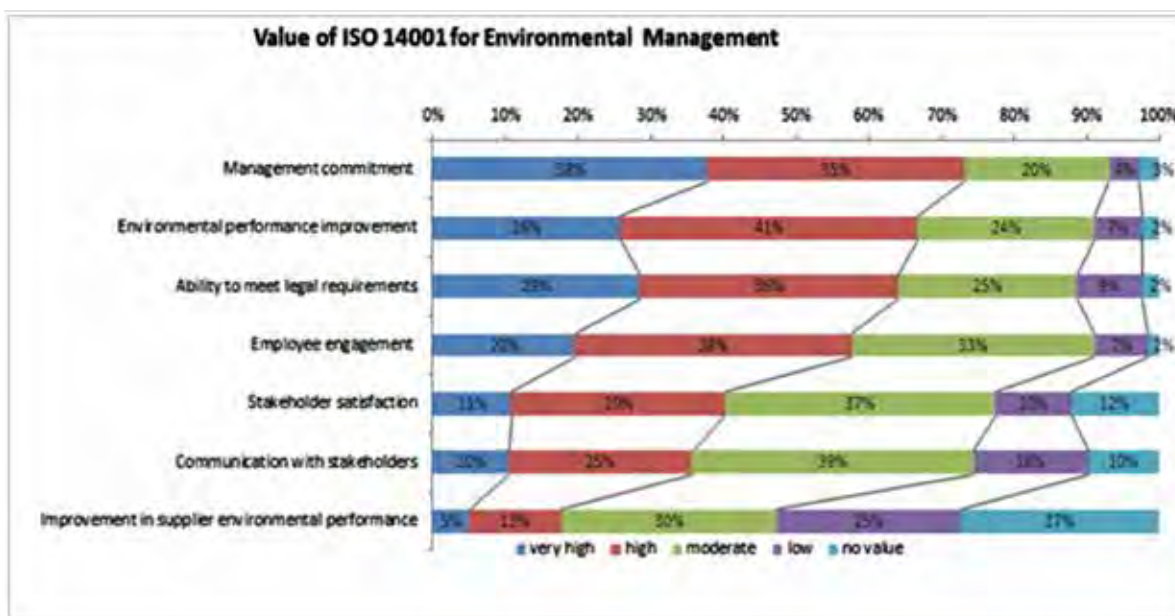


Fig. 5. Survey Results for Individual Variables Comprising the EMV Super Variable

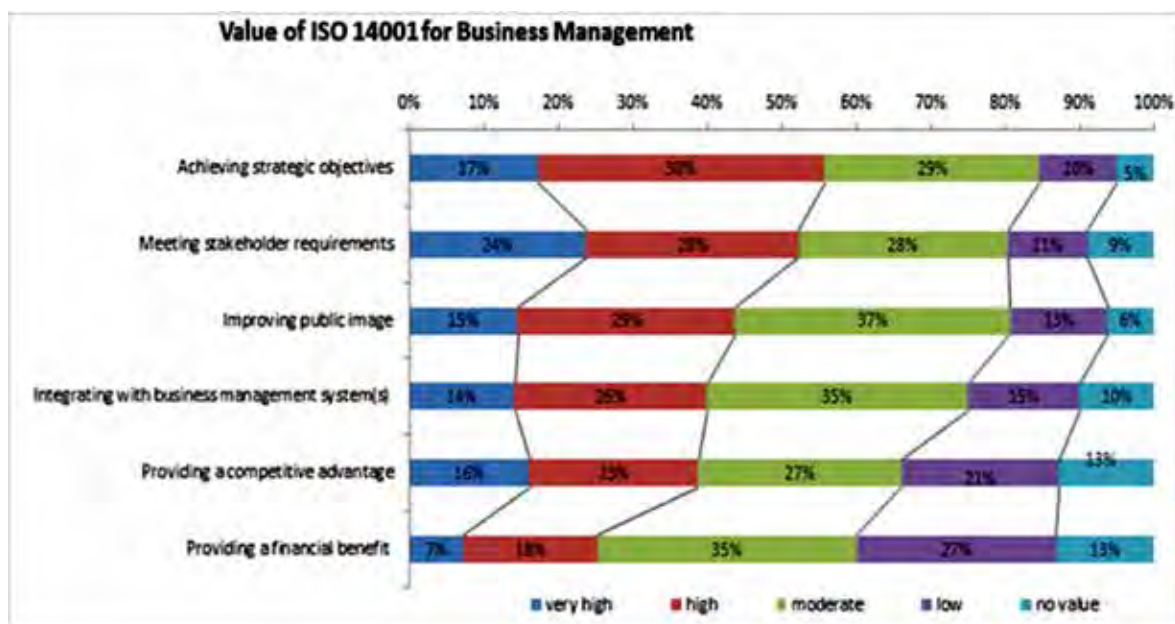


Fig. 6. Survey Results for Individual Factors that Comprise the BMV Super Variable

over 50% a very high score. The image of the public improved, with 80% at least moderate and 44% high to very high. Then integration with business systems, with 75% being at least moderate and 40% high to very high. Figure 6 shows the survey results for individual factors that make up the overarching variable Business Management Value.

Interview participants representing organizations with environmental responsibility or internal competitiveness-oriented motivations consistently indicated that upper management in their organizations had embraced the EMS and used it actively to control their processes and activities with environmental impacts. For organizations motivated by external pressures and mandates, there was more variation in the extent that management accepted and utilized the EMS. One participant described a disconnect where under a mandated approach, upper management wasn't committed to the implementation of the EMS, at least initially, which affected the implementation of the system and limited its value to the organization. In several cases, management's "eyes were opened" to the potential value of the EMS once it was in place and began to leverage it more as an opportunity, even though they were initially pressured to adopt it (5, 18, 9, 11, 16, 7). In others, management accepted the EMS but didn't fully integrate it or take full advantage of its opportunities. The EMS was described in several cases as a "bolt-on" system. Some organizations were just going through the motions, doing the absolute minimum needed to maintain certification (1, 3, 10, 12, 15), or worse, "gaming the system" as one participant (10) suggested, by outsourcing processes with significant environmental impact (9) or purposely setting weaker, less specific goals and seeking out less rigorous certification auditors to facilitate the audit process.

5. DISCUSSION

The Value of ISO 14001 for Environmental Management

Value perceptions appear to be affected by the organization's complexity and level of environmental impact. Interview results suggest that firms with higher complexity or environmental risk tended to find higher value overall in ISO 14001 implementation than those with lower complexity or environmental impact. This also relates to cost-benefit trade-offs, where value or benefits obtained would need to surpass the costs associated with conformity and certification for a firm to recognize it as such.

When asked to elaborate on areas where ISO 14001 had added value for environmental management, many of the interview participants discussed improvement in meeting environmental legal requirements, waste minimization, and environmental performance improvement. While some participants indicated environmental performance and compliance assurance might have also been influenced by other programs and initiatives in their organizations, they all observed the systematic approach provided by ISO 14001 to be instrumental toward those ends. It enabled proactive processes to gain knowledge, identify and address situations that could have resulted in noncompliance with environmental regulations, and solve and prevent problems by identifying underlying causes. ISO 14001 provided the discipline to establish, document, and standardize procedures, and a structured, organized and cohesive way to plan for and address the environmental aspects of the organization's activities.

The second area, highlighted by many participants, was the involvement of management and employees in environmental management issues. ISO 14001 further strengthens environmental management in the organization. Management has been informed about environmental management activities and concerns as well as the functioning of the system as part of the required management review process. Over time, this improved leadership in environmental management and managers began to find more ways to improve environmental protection, achieve environmental goals, and reduce costs. This was a factor responsible for organizations motivated by environmental responsibility, as well as several who were invited or urged to adopt ISO 14001.

Besides, employee awareness and engagement in environmental management activities and issues was noted as a major area of value for several organizations. Employee involvement in the EMS helped to provide much more comprehensive environmental protection because employees began to think about how their work affected the environment and how they could contribute toward the organization's environmental goals. ISO 14001's requirements for employee awareness and competence made employees part of the process and provided a more robust opportunity for individuals within the company to do the right thing when making decisions.

These results are consistent with Rondinelli and Vastag's (2000) case study research, which indicated

positive behavior changes as a result of ISO 14001 implementation and highlighted their importance in driving reductions in waste generation. Managers noted an increase in awareness of environmental issues, impacts, and requirements, as well as personal responsibilities at work as a result of the EMS. Implementation of the Standard, or at least a robust EMS, can produce critical behavioral impacts that contribute to better environmental performance, even for sites already performing well beforehand.

The Value of ISO 14001 for Business Management

Regarding business management value, participants again mostly noted systematic and structural benefits, where ISO 14001 provided an infrastructure for consistency, continuity, and succession, and helped the organization to avoid disruption related to environmental risk management and compliance assurance. The structure and action plan established under the EMS supported and facilitated the achievement of strategic objectives.

Participants who indicated that management in their organizations had not embraced ISO 14001 and mostly doing the minimum needed to maintain certification suggested that the only business management value from the standard was related to customer retention or public image. One participant noted that the standard was viewed as merely a marketing expense. Various participants kept in mind that business and environmental management go together. Besides, environmental management benefits would, in turn, provide value for business management, noting specific benefits realized in reduced cost associated with pollution prevention efforts, improved efficiency as a result of integrating the EMS within the business systems, and enhanced product-related environmental management and stewardship in relation to meeting rules and directives in international markets.

6. CONCLUSIONS

This study is based on perceptions of value, which are inherently subjective and context-dependent, and firms are looking to get different things out of the EMS based on different motivations and organizational contexts. Perceived value tends to increase with higher

levels of organizational complexity or environmental risk, and the more the EMS outcomes align with the organization's goals and core processes. Further, a value can often be intangible in environmental management. It's easy to see where you fail, but hard to see success regarding what's prevented, and this affects perceptions of value.

Even organizations that "do the right thing" in implementing an EMS for all the "wrong" reasons may over time broaden the scope of their intentions due to changing perceptions, internal culture, and enhanced capabilities. Regarding ISO 14001 environmental and enterprise value management indicators, it may, therefore, be more appropriate to examine the attitudes and perceptions of senior management, as well as the organization's inclination to engage in environmental management and integrate the EMS into the overall business.

Motivation is an important, but complex factor in driving environmental and business management value for ISO 14001 users. This research overall suggests that motivation does matter, but there is variability in what happens over time, after the decision is made to adopt ISO 14001, and this variability in implementation can lead to disparate performance results and perceptions of value gained in the process. Human and economic factors, including upper management awareness of an emphasis on environmental issues and EMS activities, organizational culture, and availability of resources have a significant effect on EMS implementation and its effectiveness.

The study thus raises critical questions that revolve around what happens after the decision is made to adopt ISO 14001, and how to get upper management to embrace the EMS principles and align EMS performance outcomes with the organization's strategic goals when mandated to adopt ISO 14001. In this sense, ISO 14001 adoption may be something of an arranged marriage for many firms. They can keep the EMS at arm's length, accepting it but underutilizing it under a transactional approach, or they may realize its value once it is in place and embrace it, integrating it into daily operations and leveraging it for transformational change.

REFERENCES

- [1] AASHE. (2016). AASHE Academic Programs Database. Retrieved from <http://www.aashe.org/resources/academic-programs/>.
- [2] Andrews, R. N., Darnall, N., Gallagher, D. R., Keiner, S. T., Feldman, E., Mitchell, M., . . . Jacoby, J. (2001). "Environmental management systems: history, theory, and implementation research. Regulating from the inside: Can environmental management systems achieve policy goals, 31-60.

- [3] Anon, (2002). Deciding on ISO 14001: Considering Economics, Institutions, and Context. *Long Range Planning*, 35(3), p.218.
- [4] Aravind, D., and Christmann, P. (2008). Institutional and Resource-Based Determinants of Substantive Implementation of ISO 14001". *Academy of Management Annual Meeting Proceedings*, 1-6.
- [5] Norwegian Accreditation, (2013). "Knowledge Center". Retrieved from <http://www.akkrediter.no/en/kundeomrade/sertifiseringsorganer/revisjon-av-iso-9001-14001/>
- [6] Balzarova, M. A., and Castka, P. (2008). Underlying mechanisms in the maintenance of ISO 14001 environmental management system. *Journal of Cleaner Production*, 16(18), 1949-1957.
- [7] Bansal, P., and Roth, K. (2000). Why companies go green: A model of ecological responsiveness. *Academy of Management Journal*, 43(4), 717-736.
- [8] Boiral, O. (2001). ISO 14001 certification in multinational firms: the paradoxes of integration. *Global Focus*, 13(1), 79-94.
- [9] Bootsma, M., and Vermeulen, W. (2011). Experiences of environmental professionals in practice. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 12(2), 163-176.
- [10] Brouwer, C. and van Koppen, C. (2008). The soul of the machine: continual improvement in ISO 14001. *Journal of Cleaner Production*, 16(4), 450-457.
- [11] Coglianese, C. and Nash, J. (2002). Policy options for improving environmental management in the private sector. *Environment*, 44(9).
- [12] Corbett, J. and Yeung, L. (2008). Special issue on meta-standards in operations management: Cross-disciplinary perspectives. *International Journal of Production Economics*, 113(1), 1-2.
- [13] Daddi et al., 2011. Do environmental management systems improve environmental performance? Empirical evidence from Italian companies. *Environment, Development and Sustainability*, 13(5), pp.845-862.
- [14] Deephouse, L. and Suchman, M. (2008). Legitimacy in organizational institutionalism. *The Sage handbook of organizational institutionalism*, 49, 77.
- [15] Delmas, M. and Toffel, W. (2004). Stakeholders and environmental management practices: an institutional framework. *Business strategy and the Environment*, 13(4), 209-222.
- [16] Dixon, H. (2001). Some thoughts on economic theory and artificial intelligence. *Surfing Economics: Essays for the Enquiring Economist*, Palgrave.
- [17] Duijm, J., Fiévez, C., Gerbec, M., Hauptmanns, U., and Konstandinidou, M. (2008). Management of health, safety and environment in process industry. *Safety Science*, 46(6), 908-920.
- [18] Endres, J. M. (2010). Clearing the air: the meta-standard approach to ensuring biofuels environmental and social sustainability. *Virginia Environmental Law Journal*, 28(73).
- [19] Eng Ann, G., Zailani, S., and Abd Wahid, N. (2006). A study on the impact of environmental management system (EMS) certification towards firms' performance in Malaysia. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 17(1), 73-93.
- [20] Fiorino, J. (2004). Flexibility. *Environmental Governance Reconsidered: Challenges, Choice and Opportunities*, 393-425.
- [21] Fiorino, D. J. (2006). *The new environmental regulation*: Mit Press.
- [22] Florida, R., and Davison, D. (2001). Why do firms adopt advanced environmental practices (and do they make a difference)? Regulating from the inside: can environmental management systems achieve policy goals, 82-104.
- [23] Friedman, F. B. (1992). The changing role of the environmental manager. *Business Horizons*, 35(2), 25-28.
- [24] Furusten, S. (2000). The knowledge base of standards.
- [25] Gleckman, H., and Krut, R. (1996). Neither international nor standard: the limits of ISO 14001 as an instrument of global corporate environmental management. *Greener Management International*, 111-124.
- [26] Gonzalez-Benito, J. and Gonzalez-Benito, O. (2008). Operations management practices linked to the adoption of ISO 14001: An empirical analysis of Spanish manufacturers. *International Journal of Production Economics*, 113(1), 60-73.
- [27] Greenwood, L. (2010). Environmental management systems as a policy tool for ecological economics. Unpublished manuscript, Department of Environmental Studies. SUNY College of Environmental Science and Forestry. Syracuse, NY.
- [28] Greenwood, L., Rosenbeck, J., and Scott, J. (2013). The Role of the Environmental Manager in Advancing Environmental Sustainability and Social Responsibility in the Organization. *Journal of Environmental Sustainability*, 2(2), 5.
- [29] Greenwood, L. (2017). ISO 14001 Continual Improvement Survey 2013. Retrieved from Geneva: www.iso.org/tc207/sc1
- [30] Hansen, L. (2006). What Safety Excellence Managers Do? *Occupational Hazards*, 68(5), 38.

- [31] Heras-Saizarbitoria, I., and Boiral, O. (2013). ISO 9001 and ISO 14001: Towards a Research Agenda on Management System Standards. *International Journal of Management Reviews*, 15(1), 47-65
- [32] Hart, L. (1995). A Natural-Resource-Based View of The Firm. *Academy of Management Review*, 20(4), 986-1014
- [33] ISO/TC207. (2013). Business Plan - ISO/TC 207 Environmental Management. Retrieved from Geneva, Switzerland: http://isotc.iso.org/livelink/livelink/fetch/2000/2122/687806/ISO_TC_207__Environmental_management_.pdf?nodeid=999214&vernum=-2
- [34] ISO. (2013). The ISO Survey of Certifications 2013. Retrieved from <http://www.iso.org/iso/isosurvey>.
- [35] King, A., Lenox, J., and Terlaak, N. (2005). The Strategic Use of Decentralized Institutions: Exploring Certification with The ISO 14001 Management Standard. *Academy of Management Journal*, 48(6), 1091-1106.
- [36] Levy, T. and Dinopoulos, E., (2016). Global environmental standards with heterogeneous polluters. *International Review of Economics & Finance*, 43, p.482.
- [37] Lippert, I., Krause, F., and Hartmann, K. (2015). Environmental management as situated practice. *Geoforum*, 66, 107-114.
- [38] Mazurek, J. (2004). Third-Party Auditing of Environmental Management Systems. *Environmental Governance Reconsidered: Challenges, Choices, and Opportunities*, edited by Robert F. Durant, Daniel J. Fiorino, and Rosemary O'Leary, 455-481.
- [39] Mitchell, B. (2003). International environmental agreements: a survey of their features, formation, and effects. *Annual Review of Environment and Resources*, 28(1), 429-461.
- [40] Morelli, J. (1999). Voluntary Environmental Management: *The Inevitable Future*. New York: CRC Press.
- [41] Morrow, D., and Rondinelli, D. (2002). Adopting corporate environmental management systems: Motivations and results of ISO 14001 and EMAS certification. *European Management Journal*, 20(2), 159-171.
- [42] Nawrocka, D. and Parker, T. (2009). Finding the connection: environmental management systems and environmental performance. *Journal of Cleaner Production*, 17(6), 601-607.
- [43] Peng, R., (2014). Does Environmental Management Improve Financial Performance? A Meta-Analytical Review. *Social and Environmental Accountability Journal*, 34(3), pp.1-2.
- [44] Perkins, R. and Neumayer, E. (2010). Geographic variations in the early diffusion of corporate voluntary standards: comparing ISO 14001 and the Global Compact. *Environment and Planning A*, 42(2), 347-365.
- [45] Qi, G., Zeng, S., Li, X., and Tam, C. (2012). Role of Internalization Process in Defining the Relationship between ISO 14001 Certification and Corporate Environmental Performance. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 19(3), 129-140.
- [46] Raines, S. (2006). Judicious Incentives: International Public Policy Responses to the Globalization of Environmental Management. *Review of Policy Research*, 23(2), 473- 490.
- [47] Rondinelli, D. and Vastag, G. (2000). Panacea, common sense, or just a label? The value of ISO 14001 environmental management systems. *European Management Journal*, 18(5), 499- 510.
- [48] Suchman, C. (1995). Managing Legitimacy - Strategic and Institutional Approaches. *Academy of Management Review*, 20(3), 571-610.
- [49] Simon, A. (1956). Rational Choice and The Structure of The Environment. *Psychological Review*, 63(2), 129-138.
- [50] Sinding, K. (2000). Environmental management beyond the boundaries of the firm: definitions and constraints. *Business Strategy and the Environment*, 9(2), 79-91.
- [51] Sroufe, P., Melnyk, A., and Vastag, G. (1998). Environmental Management Systems as a source of competitive advantage. Department of marketing and supply chain management, Michigan State University, USA.
- [52] Tung, A., Baird, K. and Schoch, H., (2014). The association between the adoption of an environmental management system with organisational environmental performance. *Australasian Journal of Environmental Management*, 21(3), pp.1-16.
- [53] Uzumeri, V. (1997). ISO 9000 and other metastandards: principles for management practice? *The Academy of Management Executive*, 11(1), 21-36.
- [54] Van Der Veldt, D. (1997). Case studies of ISO 14001: a new business guide for global environmental protection. *Environmental Quality Management*, 7(1), 1-19.
- [55] Winter, S. G. (2000). The satisficing principle in capability learning. *Strategic Management Journal*, 21(10-11), 981-996.

Acknowledgments:

The work was financed by the University of Bergen

Podziękowania:

Praca była finansowana przez Uniwersytet w Bergen

THE INFLUENCE OF CEMENT BYPASS DUST ON THE PROPERTIES OF CEMENT CURING UNDER NORMAL AND AUTOCLAVE CONDITIONS

Wpływ pyłu z instalacji bypassa pieca cementowego na właściwości cementu dojrzewającego w warunkach normalnych i autoklawizacji

Structure and Environment No. 1/2019, vol. 11, p. 5

DOI: 10.30540/sae-2019-001

Abstract

This paper analyses the properties of cement binders composed with cement CEM I 42.5R and cement bypass dust in amount of 0.5, 1.0 and 5.0% by mass of binder, curing under standard and additionally autoclave conditions. The bypass dust increases the water content for standard consistency and delays the initial setting time of binder. The cement paste containing 5% of dust reveals the change in volume by 6 mm according to Le Chatelier test. After 2 days, the compressive strength of cement mortar containing bypass is comparable to that of Portland cement mortar, but at later time the strength development of this cement binder is slower. The addition of cement bypass dust in amount to 1% can obtain the cement of strength class of 42.5R according to standard PN-EN 197-1. The autoclave curing improves the compressive strength of cement mortar. The SEM/EDS observations confirm the presence of low crystalline C-S-H gel and well-formed tobermorite fibres in autoclaved cement mortar containing 5% of cement bypass dust.

Streszczenie

W pracy analizowano właściwości spoiw cementowych zawierających w składzie cement portlandzki CEM I 42,5R i pył z instalacji bypassa pieca cementowego w ilości 0,5, 1,0 i 5,0% masy spoiwa, dojrzewających w warunkach normalnych i dodatkowo w autoklawie. Pył z bypassa zwiększa ilość wody niezbędnej do uzyskania konsystencji normowej oraz opóźnia początek czasu wiązania spoiwa. Zaczyn zawierający 5% pyłu wykazuje zmianę objętości o 6 mm według Le Chateliera. Po dwóch dniach wytrzymałość na ściskanie zaprawy ze spoiwa zawierającego pył z bypassa jest porównywalna z wytrzymałością zaprawy z cementu portlandzkiego, ale w miarę upływu czasu przyrost wytrzymałości zaprawy z tego spoiwa jest mniejszy. Dodatek pyłu z bypassa w ilości nieprzekraczającej 1% pozwala otrzymać cement klasy wytrzymałości 42,5R według wymagań normy PN-EN 197-1. Autoklawizacja zwiększa wytrzymałość na ściskanie zaprawy cementowej, a pył z bypassa stanowi jeden z czynników poprawiających właściwości wytrzymałościowe. Obserwacje SEM/EDS potwierdzają obecność słabo wykryształizowanego żelu C-S-H i dobrze wykształconych włókien tobermorytu w próbce zaprawy zawierającej 5% pyłu z bypassa dojrzewającej w warunkach autoklawu.

NON-LINEAR MASTIC CHARACTERISTICS BASED ON THE MODIFIED MSCR (MULTIPLE STRESS CREEP RECOVERY) TEST

NIELINIOWA CHARAKTERYSTYKA MASTYKSU NA PODSTAWIE ZMODYFIKOWANEJ METODY MSCR

Structure and Environment No. 1/2019, vol. 11, p. 23

DOI: 10.30540/sae-2019-002

Abstract

Mastic containing asphalt in its composition is an example of a viscoelastic material. It is an effective binder in asphalt. It consists of a filler (<0.063 mm) and asphalt mixed in the right proportions. Just like in asphalt, its response depends on the temperature level, the load and stress time. Changing the stress stiffness of the mastic affects the non-linear course of the stress-strain relationship. Modelling of the non-linear course of the mastic response for any stress history was performed using a single-integral Schapery equation. Two mastic composites made using filler to asphalt 2:1 ratio, was used in the tests. In addition, the contents of the filler, in one of the compositions, was enriched with hydrated lime in an amount of 15% in relation to the mass of the lime filler. It was found that the use of non-linear viscoelasticity model describes, in a comprehensive manner, the change in strain over time with different stress histories. In addition, hydrated lime reduced strains in the mastic compared to a composition consisting of limestone dust only.

Streszczenie

Mastyks zawierający w swoim składzie asfalt jest przykładem materiału lepkosprężystego. Stanowi on efektywne lepiszcze w mieszance mineralno-asfaltowej. Składa się on z wypełniacza ($<0,063$ mm) oraz asfaltu wymieszanego w odpowiednich proporcjach. Tak samo jak w mma jego odpowiedź zależy od poziomu temperatury, czasu oddziaływania obciążenia. Zmiana sztywności mastyksu wywołana naprężeniem rzutuje na nieliniowy przebieg relacji naprężenia-odkształcenie. Modelowanie nieliniowego przebiegu reakcji mastyksu dla dowolnej historii naprężenia zostało wykonane przy użyciu jednocalkowego równania Schapery'ego. W badaniach wykorzystano dwie kompozycje mastyksu sporządzonego przy proporcji wypełniacza do asfaltu wynoszącego 2:1. Ponadto skład wypełniacza został w jednej z kompozycji wzbogacony o wapno hydratyzowane w ilości 15% w stosunku do masy wypełniacza wapiennego. Stwierdzono, że zastosowanie modelu nieliniowej lepkosprężystości w sposób kompleksowy opisuje zmianę odkształcenia w czasie przy różnej historii występowania naprężna. Ponadto wapno hydratyzowane korzystnie ograniczyło deformacje w mastyksie w stosunku do kompozycji składającej się wyłącznie z mączki wapiennej..

EDYTA BANACHOWSKA

SECOND LIFE OF THE 19TH AND 20TH CENTURY BUILDINGS ON THE EXAMPLE OF THE REVITALIZATION OF ARCHITECTURE BUILDINGS ART GALLERIES CULTURE CENTRES

DRUGIE ŻYCIE BUDYNKÓW XIX I XX WIEKU NA PRZYKŁADZIE REWITALIZACJI OBIEKTÓW ARCHITEKTONICZNYCH GALERIE SZTUKI CENTRA KULTURY

Structure and Environment No. 1/2019, vol. 11, p. 35

DOI: 10.30540/sae-2019-003

Abstract

In 1992, the idea of adapting the power plant building located in the industrial district of London in the contemporary art gallery Tate Modern, was brought into effect. Implementation, immediately after the opening in 1997, attracted millions of visitors and over more than 20 years of cultural activity it has become one of the most popular galleries of modern art in the world. Thus the worldwide trend of arranging art and culture centres in the revitalized buildings has started. A great example of this idea is the CaixaForum in Madrid and a number of Polish projects. In each major city in our country an old neglected building which represents cultural values has been revitalized. The derelict boiler-house in Olsztyn was converted into the Technology Education Center and the building of an orphanage and a nursery was transformed into the gallery of contemporary art BWA in Kielce. Labor-intensive and costly actions contributed to saving not only abandoned and vandalized buildings, but also influenced the preservation of historic city centers, protection and preservation of frontages and precious landscape values. Public awareness in the field of cultural heritage has definitely increased and the measures aimed at giving a second life to historic, derelict buildings are met with growing interest and enthusiasm.

Streszczenie

W 1992 roku narodził się pomysł adaptacji budynku elektrowni, położonej w przemysłowej dzielnicy Londynu, na galerię sztuki współczesnej Tate Modern. Realizacja, zaraz po otwarciu (1997), przyciągnęła miliony zwiedzających i w ciągu ponad 20 lat działalności stała się jedną z najpopularniejszych galerii sztuki współczesnej na świecie. Tym samym zapoczątkowano światowy trend urządzania centrów sztuki i kultury w zrewitalizowanych budynkach. Świetnym przykładem kontynuacji tej myśli jest CaixaForum w Madrycie czy liczne realizacje polskie. W każdym większym mieście naszego kraju udało się dokonać rewitalizacji zaniedbanego starego budynku przedstawiającego wartość kulturową: przebudowa zrujnowanej kotłowni w Olsztynie na Centrum Edukacji Technologicznej, rewitalizacja budynku ochronki i przedszkola na galerię sztuki współczesnej BWA w Kielcach. Pracochłonne i kosztowne działania przyczyniły się do uratowania nie tylko opuszczonych i zdewastowanych budynków, ale wpłynęły na zachowanie zabytkowych centrów miast, ochronę pierzei czy zachowanie cennych walców krajobrazowych. Wzrosła świadomość społeczeństwa w dziedzinie ochrony własnego dziedzictwa kulturowego – działania zmierzające do nadania drugiego życia zabytkowym, zrujnowanym budynkom są przyjmowane z rosnącym zainteresowaniem i entuzjazmem.

**SUSTAINABLE DESIGN – NEW STANDARDS
IN SPACE CREATION – A REVIEW OF THE SELECTED STUDENT WORKS**

**PROJEKTOWANIE ZRÓWNOWAŻONE – NOWE STANDARDY KSZTAŁTOWANIA PRZESTRZENI
NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH PRAC STUDENCKICH**

Structure and Environment No. 1/2019, vol. 11, p. 54

DOI: 10.30540/sae-2019-004

Abstract

Sustainable design in architecture is of prime importance due to civilisation, economic, environmental and social factors. Countries both in Europe, and also in other continents, have committed to take measures to limit the degradation of the natural environment. An architect plays a relevant role in creating the surrounding space. Students of the Kielce University of Technology are increasingly more interested in sustainable design, which can be seen in the designs they produce. In the paper, the author presents some students' works in which standards of sustainable design were successfully applied.

Streszczenie

Projektowanie zrównoważone w architekturze jest istotne ze względu na uwarunkowania cywilizacyjno-ekologiczne, ekonomiczne oraz społeczne. Kraje europejskie jak i kraje na różnych kontynentach świata podejmują zobowiązania ograniczające dewastacje środowiska człowieka. Rola architekta w kształtowaniu przestrzeni zbudowanej jest istotna. Studenci Politechniki Świętokrzyskiej w coraz większym zakresie podejmują prace obejmujące zagadnienia projektowania zrównoważonego. Autor w artykule omawia kilka prac, w których przyszli architekci zastosowali z powodzeniem standardy projektowania zrównoważonego.

KAROL BARTOŠ
JANKA SABOVÁ
LUBOMIR KSEŇAK

KATARINA PUKANSKÁ
PETER BLIŠTÁN
PAWEŁ FRĄCKIEWICZ

3D MODELLING OF A COMPLEX CEILING CONSTRUCTION USING NON-CONTACT SURVEYING TECHNOLOGIES

MODELOWANIE 3D ZŁOŻONEJ KONSTRUKCJI STROPU PRZY ZASTOSOWANIU BEZDOTYKOWYCH METOD GEODEZYJNYCH

Structure and Environment No. 1/2019, vol. 11, p. 67

DOI: 10.30540/sae-2019-005

Abstract

Geodetic inventory of complex architectural complexes – technological facilities in industrial plants, refineries, complex constructions, buildings, etc. is a complex task. Inventory carried out with advanced measurement techniques requires synchronization of the apparatus, taking into account the specificity of the spatial structure of the object and local conditions, as well as the method of developing the results and visualizing the final effect. The article presents an example of surveying the complex structure of the ceiling in the „Food Court“ part of the Optima Shopping Center in Košice. The main purpose of this task was to demonstrate the usefulness of laser scanning, create a digital spatial model of a steel roof structure and make it available for further work. The measurement was made with a Leica ScanStation C10 laser scanner. The data processing was done in software: Leica Cyclone, Bentley Microstation V8i and Leica Cloudworx plug-in. The final effect of the inventory of the ceiling structure is presented in the form of a spatial CAD model.

Streszczenie

Geodezyjna inwentaryzacja skomplikowanych kompleksów architektonicznych – obiektów technologicznych w zakładach przemysłowych, rafineriach, złożonych konstrukcjach, budynkach itp. jest złożonym zadaniem. Inwentaryzacja wykonywana zaawansowanymi technikami pomiarowymi wymaga zsynchronizowania aparatury, uwzględnienia specyfiki przestrzennej konstrukcji obiektu i lokalnych uwarunkowań, a także sposobu opracowania wyników i wizualizacji końcowego efektu. W artykule przedstawiono przykład geodezyjnego badania złożonej konstrukcji stropu w części „Food Court” w Centrum Handlowym Optima w Koszycach. Głównym celem tego zadania było wykazanie przydatności skaningu laserowego, stworzenie cyfrowego przestrzennego modelu stalowej konstrukcji dachowej i jego udostępnianie do dalszych prac. Pomiar został wykonany skanerem laserowym Leica ScanStation C10. Obróbka danych została wykonana w oprogramowaniach: Leica Cyclone, Bentley Microstation V8i i Leica Cloudworx plug-in. Końcowy efekt inwentaryzacji konstrukcji stropu przedstawiono w postaci przestrzennego modelu CAD.

**THE EFFECTIVENESS OF ISO 14001
AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM – THE CASE OF NORWEGIAN FIRMS**

**EFEKTYWNOŚĆ ISO 14001
I SYSTEMU ZARZĄDZANIA ŚRODOWISKIEM – PRZYPADEK FIRM NORWESKICH**

Structure and Environment No. 1/2019, vol. 11, p. 77

DOI: 10.30540/sae-2019-006

Abstract

Organizations use standards to help them manage their activities to comply with regulations and help prevent, mitigate, and control adverse environmental impacts. ISO 14001 is an international standard for environmental management that provides a framework for addressing these responsibilities. The purpose of this study was to examine the relationship between the organization's primary motivation for the adoption of ISO 14001 and the value creators perceived through the implementation of the Environmental Management and Business Management Standard. The study used the data from the International Organization for Standardization 2013 ISO 14001 Continuous Improvement Survey and the survey results of the participants. It used an existing theoretical model and attempts to improve understanding of how contextual factors influence the outcomes of the ISO 14001 system. The descriptive results are consistent with the statements in the literature that external pressure and stakeholder legitimacy are the main causes for the introduction of ISO 14001.

Streszczenie

Organizacje wykorzystują normy w celu pomocy w zarządzaniu ich działaniami, tak aby stosować się do regulacji i pomóc zapobiegać, łagodzić skutki i kontrolować niekorzystne wpływy środowiska. 14001 jest normą międzynarodową nt. zarządzania środowiskiem, która zawiera narzędzia do wypełnienia tych celów. Zadaniem niniejszej pracy było zbadanie zależności między podstawową motywacją danej organizacji do przyjęcia ISO 14001 a postrzeganą wartością, związaną z wprowadzeniem Zarządzania Środowiskowego i Standardem Zarządzania Biznesowego. W pracy wykorzystane dane Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej: „2013 ISO 14001 Continuous Improvement Survey” i wyników badań uczestników. Wykorzystano istniejący, teoretyczny model i próby zrozumienia, jak czynniki kontekstowe wpływają na wyniki wg ISO 14001. Wyniki opisowe są zgodne z danymi literaturowymi, że głównie presja zewnętrzna i interesariusze wpływają na wprowadzenie ISO 14001.

Uniform requirements for manuscripts submitted to “Structure and Environment”

All manuscripts should be submitted in English and Polish.

Given name(s) and surname(s) of each author

Institutional affiliation(s)

Author's e-mail

Title

Format for the paper:

- Abstract
- Keywords
- Introduction
- Subsequent headings
- Summary
- References

The text should be single-spaced throughout. The font should be 11 pt Times New Roman. All paragraphs should be indented 0.5 cm.

Formulas, tables, figures and photographs should be numbered consecutively

Figures and photographs with a resolution of 300 dpi or higher must be submitted in *.TIFF, *.EPS, *.JPG, *.WMF format.

Figures, photographs and tables should be in English, but their captions should be given in English and Polish.

References: The paper submitted for publication must comply with copyright law provisions. Authors have to document sources of the photographs, figures, quotes and borrowings used in the article. References should be cited in square brackets through the text. The full list of references arranged in the citing order as they appear in the text should be placed at the end of the paper (with one language version only). The reference style is defined by the standard PN-ISO 690:2012 Information and documentation. Guidelines for bibliographic references and citations to information resources.

Examples

Whole books

- [1] Author's surname followed by the initials: Title of the book. Place of publication: Publisher, Year of publication, ISBN number.

Edited books

- [2] Surname and initials of the editor (Ed.): Title of the book. Place of publication: Publisher, Year of publication, ISBN number.

Chapters in edited books

- [3] Author's surname followed by the initials: Title of the chapter. (in): Title of the book. Place of publication: Publisher, Year of publication, page numbers (for example: pp. 10-20), ISBN number.

Journal articles

- [4] Author's surname followed by the initials: Title of the article. "journal title" Year, Number, page numbers (for example: pp. 10-20), ISSN number

Web references

- [5] Author's surname followed by the initials: Title of the work. [type of the source, for example: online]. [date when the reference was last Accessed: ...]. Available online: web page

Podstawowe wymagania edytorskie dotyczące pisania artykułów do czasopisma „Structure and Environment”

Artykuł powinien być napisany w dwóch wersjach językowych: angielskiej oraz polskiej.

Imię i nazwisko autora
Nazwa uczelni
e-mail autora

Tytuł artykułu

Struktura artykułu:

- Streszczenie
- Słowa kluczowe
- Wprowadzenie
- Kolejne podtytuły
- Podsumowanie
- Bibliografia

Tekst artykułu powinien być napisany czcionką Times New Roman 11, interlinia pojedyncza, wcięcie akapitowe 0,5 cm.

Wzory, tabele, rysunki oraz zdjęcia powinny być ponumerowane zgodnie z kolejnością ich występowania w tekście.

Rysunki oraz zdjęcia o rozdzielczości 300 dpi lub wyższej, format *.TIFF, *.EPS, *.JPG, *.WMF.

Rysunki, zdjęcia oraz tabele zamieszczamy w wersji angielskiej, a ich tytuły podajemy zarówno w języku angielskim, jak i języku polskim.

Bibliografia: Artykuł przeznaczony do publikacji musi być przygotowany zgodnie z postanowieniami ustawy „Prawo autorskie”, które nakłada na autora obowiązek wykazania źródeł wykorzystanych zdjęć, rysunków cytowań, zapożyczeń. Źródła takie należy umieszczać w tekście w nawiasach kwadratowych. Zbiorcze zestawienie bibliografii umieszczamy na końcu artykułu w kolejności cytowania (tylko przy jednej wersji językowej).

Styl bibliograficzny definiuje norma: **PN-ISO 690:2012** *Informacja i dokumentacja. Wytyczne opracowania przypisów bibliograficznych i powołań na zasoby informacji*.

Przykłady

Pozycje książkowe

[1] Nazwisko i inicjały imion autora: *Tytuł: podtytuł*. Miejsce wydania: Wydawca, Rok, Numer ISBN.

Praca zbiorowa

[2] Nazwisko i inicjały imion redaktora (red): *Tytuł: podtytuł*. Miejsce wydania: Wydawca, Rok, Numer ISBN.

Rozdziały książek

[3] Nazwisko i inicjały imion autora: *Tytuł: podtytuł rozdziału*. [w]: *Tytuł publikacji*. Miejsce wydania: Wydawca, Rok, Strony (np. s. 10-20), Numer ISBN.

Artykuły w czasopismach

[4] Nazwisko i inicjały imion autora: *Tytuł artykułu*. „Tytuł czasopisma” Rok, Numer, Strony (np. s. 8-27), Numer ISSN.

Strony internetowe

[5] Nazwisko i inicjały imion autora: *Tytuł*. [typ nośnika (np. online)]. [data dostępu: ...]. Dostępny w internecie: Adres strony internetowej

THE REVIEW PROCESS

The following requirements need to be met by the paper:

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

