

# Builder

## BUILDER SCIENCE

DZIAŁ MIESIĘCZNIKA BUILDER  
DOSTĘPNY BEZPŁATNIE W WERSJI CYFROWEJ  
W RAMACH OPEN ACCESS NA E.BUILDERCORP.PL  
ORAZ W BEZPŁATNEJ APLIKACJI BUILDER POLSKA  
W APP STORE I GOOGLE PLAY

9 2019

**Łukasz Wasilewski**

MODEL BIM NA POZIOMIE – s. 2

**Filip Grzymiski**

FIBROBETON. WYBRANE WYNIKI BADAŃ – s. 5

**Marek Budzyński, Krystyna Ilmurzyńska**

ROZWAŻANIA O PRZESTRZENIACH PUBLICZNYCH – s. 8

**Anna Tryfon-Bojarska, Ewelina Wińska**

CYFRYZACJA W BUDOWNICTWIE – s. 12

DIGITIZATION IN CONSTRUCTION – s. 15

**Tomasz Howiacki, Rafał Sieńko**

ŚWIATŁOWODY. PRZEŁOM W POMIARACH – s. 18

**Jan Kaczmarczyk, Izabela Glück, Karolina Żydek**

SYSTEMY WENTYLACJI I KLIMATYZACJI

HVAC W OBIEKTACH HANDLOWYCH – s. 21

**Anna Nowak, Hubert Markowski**

KORONA WARSZAWY – NAJWYŻSZE Z NAJWYŻSZYCH

VARSO – s. 25

**Jarosław Szewczyk**

DREWNO WE WSPÓŁCZESNEJ ARCHITEKTURZE – s. 30

MAGAZYN

CZYTAJ  
BUILDER  
NA TABLECIE,  
SMARTFONIE  
I KOMPUTERZE

BUILDER  
CYFROWY  
FOR FREE!

ZA DARMO!

- 1. NA TABLETACH I SMARTFONACH**  
Pobierz bezpłatną aplikację Builder Polska z App Store lub Google Play
- 2. NA KOMPUTERACH**  
Wejdź przez przeglądarkę na stronę e. buildercorp.pl i zarejestruj się
- 3. PEŁEN DOSTĘP BEZ OGRANICZEŃ**  
Czytaj magazyn Builder i inne publikacje z Biblioteki Buildera

Available on the  
App Store

ANDROID APP ON  
Google play

WWW.BUILDERCORP.PL

# BUILDER SCIENCE

## GŁOS RADY NAUKOWEJ



Fot. arch. prywatne

## Gotowi na zmiany klimatu?

Uczeni od lat głoszą ocieplenie klimatu. Choć zdania między nimi są podzielone, to każdy z nas obserwuje niepokojące zmiany.

Tegoroczne lato obfituje w długie okresy o temperaturze powietrza wyższej niż 25°C, wcześniej rzadko występujące. W lipcu – miesiącu o tradycyjnie największych opadach, jest sygnalizowana susza, a jednocześnie występują deszcze nawalne i podtopienia. Słuszna jest zatem zmiana przyjaznego określenia „ocieplenie klimatu” na „katastrofa klimatyczna”.

Traktowanie zmian klimatu jako zapowiedzi łagodnych zim jest mylące, bo mogą wystąpić niskie temperatury oraz intensywne opady śniegu i musimy być na to przygotowani.

Kilka lat temu w projekcie KLIMADA opracowałam odnoszący się do sektorów budownictwa i transportu raport na temat ich wrażliwości na zmiany klimatu oraz adaptacji tych obszarów do prognozowanych zmian. To, czego możemy się spodziewać, to duża dynamika zjawisk klimatycznych: huraganowy wiatr, ulewy, gwałtowne zmiany temperatury.

Najważniejszym działaniem budowlanców musi być dostosowanie nowo powstających obiektów do zmieniających się warunków związanych z obciążeniem: wiatrem, opadami oraz temperaturą. Stawiamy przecież budowle na dziesiątki lat – muszą być bezpieczne i dziś, i kiedy wszyscy uznamy, że nastąpiły katastrofalne zmiany klimatu. Oby moje słowa nie były jak słowa Kasandry z *Odprawy posłów greckich* Jana Kochanowskiego.

*Po co mię próżno, srogi Apollo, trapisz,  
Który, wieszczego ducha dawszy, nie dałeś  
Wagi w słowach, ale me wszystkie proroctwa  
Na wiatr idą nie mając u ludzi więcej  
Wiary nad baśni próżne i sny znikome?*

**prof. IBDiM dr hab. inż. Barbara Rymcza**

Institut Badawczy Dróg i Mostów,  
Członek Rady Recenzentów miesięcznika „Builder”

# MODEL BIM

## na poziomie



**Łukasz Wasilewski**  
ORCID: 0000-0002-8106-3761  
Wydział Budownictwa Lądowego  
i Wodnego,  
Politechnika Wrocławska

Przedmiotem artykułu jest wpływ różnic w modelach budynku, wynikających z modelowania na wybranym poziomie zaawansowania, na dokładność automatycznie wykonywanego przez oprogramowanie przedmiaru materiałowego.

Optimalizacja kosztów jest nieodłącznym elementem procesu projektowania. Wszelkie niedokładności podczas wykonywania projektu mają wpływ na końcowe oszacowanie wartości projektu. Z pomocą przychodzi technologia modelowania informacji o budynku, w skrócie BIM [3]. Tworząc model, nadajemy wszystkim elementom parametry, takie jak: wymiary, położenie, wartości fizyczne (np.: współczynnik przenikania ciepła). Te właśnie informacje są istotą projektowania z użyciem BIM. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt istnienia poziomów zaawansowania LOD (ang. *Level of Development*), które definiują stopień rozwoju tworzonego modelu. Na podstawie podziału na sześć poziomów dokonanego przez American Institute of Architects określono zawartość modeli na każdym z nich. Wraz ze wzrostem poziomu LOD przenoszona jest większa ilość informacji, która wpływa na ich jakość. Z każdym kolejnym poziomem uwierzytelnione są również informacje, które mogą zostać wykorzystane do obliczeń statycznych lub wykonania przedmiaru materiałowego.

Należy zwrócić uwagę na fakt istnienia poziomów zaawansowania LOD (ang. *Level of Development*), które definiują stopień rozwoju tworzonego modelu.

### Sześć poziomów zaawansowania

Na poziomie LOD 100 [1] model nie posiada żadnej interpretacji geometrycznej takiej jak kształt, objętość, a co za tym idzie – nie dostarcza nam żadnej informacji. Obiekty wykonane na tym poziomie są reprezentowane tylko jako symbole lub modele schematyczne – poglądowe. Wszystkie wspomniane parametry stanowią niewierzytelnością informację, której w żaden sposób nie można wykorzystać na dalszych etapach prac.

Na kolejnym poziomie oznaczonym LOD 200 [1] użytkownik modelu otrzymuje pierwszą porcję informacji. Jest to model ogólny obiektu, w którym wydzielono już typy użytych materiałów, takich jak płyta gipsowa czy elementy murowe. Stanowi to pierwszą uwierzytelnioną informację, która jest dostarczana użytkownikowi pliku wraz z modelem. Określa się przybliżoną grubość obiektu, który jest reprezentowany jako pojedynczy zbiór. Pozostałe parametry, takie jak: wysokość, umiejscowienie w modelu oraz układ graficzny, ciągle mogą być poddawane zmianom (zostaną uwierzytelnione na wyższym poziomie zaawansowania modelu), dlatego nie stanowią użytecznych danych na tym etapie projektowania.

Wraz z modelem wykonanym na poziomie zaawansowania LOD 300 dostajemy zbiór dodatkowych informacji, które są sprzężone z elementami modelu. W porównaniu do poziomu LOD 200 [1] dodatkowo otrzymujemy takie parametry, jak: umiejscowienie, wysokość oraz wysokość względna. Obiekty modelowane na tym poziomie posiadają ponadto nadane wymiary otworów drzwiowych, okiennych i dużych elementów mechanicz-

nych. Ten pakiet danych stanowi pełny, wiarygodny zestaw informacji dotyczących geometrii modelowanego obiektu. W analizowanym przypadku budynku jednorodzinnego pozwala to na generowanie zestawień dotyczących np. układu pomieszczeń, ich powierzchni lub kubatury, które mogą zostać wykorzystane na przykład w celu analizy energetycznej budynku.

Poziom LOD 350 [1] wprowadza do modelu częściowe modelowanie szczegółów konstrukcyjnych. W porównaniu do LOD 300 zostają wprowadzone dokładne wymiary otworów użytkowych oraz szczegóły konstrukcji krawędzi ścian. Ponadto zostają oznaczone miejsca, w których występuje zbrojenie, wstawione zostają belki, podciąg i nadproża wraz z istniejącymi już połączeniami. Pomimo że nie wykonano szczegółów tych elementów, można już wyraźnie zauważyć zmianę struktury modelu, np. pojawienie się słupa w ścianie lub osadzenie nadproża. Modelu wykonanego w tym poziomie zaawansowania i wygenerowanej dzięki niemu dokumentacji można używać jako podstawy do opracowania projektu budowlanego.

Ostatnim, a zarazem najdokładniejszym poziomem jest LOD 400 [1]. Na tym poziomie wszystkie wyróżnione wcześniej obszary zostają szczegółowo zamodelowane. Wprowadzone zostają elementy w ścianach (poszczególne elementy murowe wraz ze sposobem przewiązania, podciąg, nadproża), konstrukcje słupów i ram, układy zbrojenia. Modelowanie na tym poziomie wymaga uwzględnienia wszystkich detali konstrukcyjnych, które występują w obiekcie. Pozwala to na tworzenie dokładnych i bardzo szczegółowych opisów oraz zestawień materiałowych.

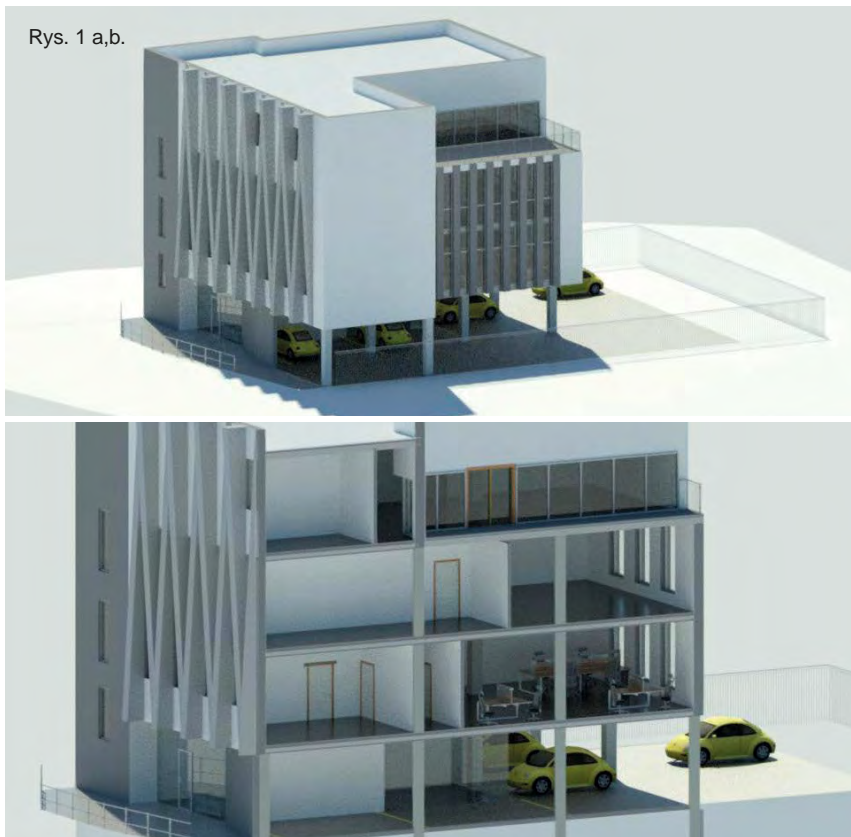
wych. Dokumentacja generowana z modelu wykonanego na tym poziomie szczegółowości może być podstawą do opracowania projektu wykonawczego.

Konkluzją z analizy zmiany zawartości modelu tworzonego na kolejnych poziomach szczegółowości jest zawartość informacji. Należy pamiętać, że to właśnie ona jest kluczowym elementem technologii modelowania informacji o budynku. Z każdym kolejnym poziomem następujące pakiety informacji stają się bardziej dokładne i wartościowe, ponieważ są popierane przez cechy wprowadzane przez twórcę modelu. Potwierdzona informacja stanowi podstawę do pracy z modelem dla kolejnych jego edytorów i użytkowników, a także jest bardzo istotna z punktu widzenia przedmiaru materiałowego, który jest przedmiotem analizy.

### Porównanie przedmiaru materiałowego

Przedmiar jest opracowaniem określającym rodzaj, sposób wykonania oraz ilość robót w zakresie danego zadania, które jest przygotowywane przed przystąpieniem do jego realizacji [2]. Stanowi jeden z etapów kosztorysowania w realizacji nowych zadań, takich jak: budowy, remonty, modernizacje.

Rys. 1 a,b.



Fot. inż. Joanna Bogrowska (KN MMB/PW)

REKLAMA

VI EDYCJA

# Konstrukcje Budowlane

22 listopada 2019 r.

Biblioteka Uniwersytecka w Warszawie



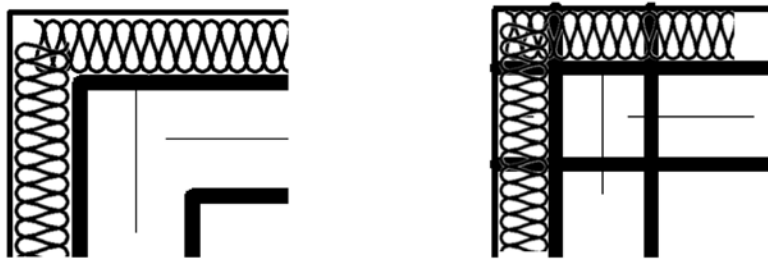
PRAKTYCZNA  
KONFERENCJA  
DLA INŻYNIERÓW  
BUDOWNICTWA!

### W PROGRAMIE SPOTKANIA M.IN.:

- Sytuacje wyjątkowe w projektowaniu konstrukcji
- Oddziaływanie sprężenia na konstrukcje z betonu
- Projektowanie konstrukcji zespolonych stalowo-betonowych
- Projekt i realizacja Biblioteki Uniwersyteckiej
- Skutki zmian prawa budowlanego w 2019 r. dla projektantów konstrukcji i inżynierów budownictwa
- Wycieczka po budynku BUW

zarejestruj się >> [i.pwn.pl/Vledycjakonstrukcjabudowlane](http://i.pwn.pl/Vledycjakonstrukcjabudowlane)

INSTYTUT  PWN



Rys. 2. Zestawienie prawidłowego (z lewej strony) i nieprawidłowego (z prawej strony) sposobu modelowania elementów konstrukcji budynku

Tab. 1. Porównanie ilości użytych materiałów

Element	Objętość materiału w modelu z dołączoną geometrią	Objętość materiału w modelu z odłączoną geometrią
Ściany nośne i działowe wykonane z betonu komórkowego	93,54 m <sup>3</sup>	97,47 m <sup>3</sup>
Wierce stropowe	7,36 m <sup>3</sup>	7,6 m <sup>3</sup>

Przedmiar materiałowy jest zatem jego częścią, która dotyczy bezpośrednio ilości użytych materiałów. Sam przedmiar to nieodłączny element procesu budowy, który jest szczególnie ważny podczas przeprowadzania procesów przetargowych i przygotowywania zamówień publicznych.

Powszechnym zjawiskiem są liczne błędy w wykonaniu przedmiaru, zaczynając od nieistotnych z punktu widzenia strony ilościowej przedmiaru, takich jak sugerowanie producentów materiałów budowlanych, aż do tych istotnych, czyli błędów w obliczaniu ilości potrzebnych materiałów.

Wykorzystanie technologii BIM w procesie kosztorysowania jest oczywistym ułatwieniem, ponieważ programy, w których prowadzony jest proces projektowania, umożliwiają tworzenie zestawień przedmiaru materiałowego. W tabeli ujęto ilościowe zestawienie poszczególnych materiałów, takich jak: elementy murowe, materiały izolacyjne, materiały wykończeniowe. Oprogramowanie daje możliwość przypisania ceny do jednostki powierzchni lub objętości materiału. Odpowiednio skonfigurowany element konstrukcji budynku pod względem jego parametrów pozwala wstępnie, z dużą dokładnością, ocenić ilość materiałów, które będzie trzeba zakupić i zużyć podczas realizacji konstrukcji.

Do analizy użyto dwóch wersji modelu wykonanego w technologii BIM za pomocą programu Autodesk Revit (rys. 1.). W pierwszym z nich wszystkie elementy posiadają wzajemnie dołączoną geometrię (są zamodelowane z wysoką dokładnością). Natomiast

Wraz ze wzrostem poziomu zaawansowania zwiększa się szczegółowość modelu oraz dokładność przedmiaru materiałowego.

w drugim modelu geometria elementów została zamodelowana z mniejszą dokładnością (elementy takie jak ściany i stropy nie są ze sobą poprawnie połączone). Przykład różnicy pomiędzy modelami dla geometrii naraża ściany przedstawiono na rys. 2.

Na podstawie wycinków rzutów konstrukcyjnych zauważamy nakładanie się elementów ściany. Program daje nam możliwość generowania zestawień przedmiaru materiałowego, lecz ilość materiału, która zostanie zadeklarowana w zestawieniu, jest zależna od stopnia zaawansowania modelu, czyli również od stopnia dokładności geometrycznej elementów. Niedokładność wykonania modelu, czyli jego niski poziom zaawansowania, powoduje ilościowe podwajanie się elementów konstrukcji w generowanych zestawieniach ilościowych.

Z obu modeli wygenerowano zestawienie (tab. 1.), w którym przeanalizowano objętość użytych materiałów. Z przeprowadzonej na ścianach analizy wynika, że różnica objętości materiału użytego do wykonania przegród, wynikająca z zastosowanego poziomu zaawansowania modelu, wynosi 3,95 m<sup>3</sup>, co w przybliżeniu daje różnicę 138 bloczków wykonanych z betonu komórkowego. Różnica ilości elementów murowych wynosi około 4%.

Dla żelbetowych wieńców również założono dwa przypadki połączenia geometrii, analogicznie do tych, które zastosowano w ścianach. Różnica ilości betonu zużytego do wykonania wieńca wynosi 0,24 m<sup>3</sup> (3,2%).

W przeprowadzonej analizie widoczny jest wpływ poziomu zaawansowania modelu na jakość przedmiaru materiałowego oraz wynikające z niego różnice. Wraz ze wzrostem poziomu obliczane wartości stawały się coraz bardziej dokładne. Jest to istotne w przypadku sporządzania przedmiaru materiałowego, ponieważ wpływa na jego dokładność.

## Podsumowanie

Na podstawie analizy modelu wykonanego na różnych poziomach LOD można stwierdzić, że poziom zaawansowania modelu ma duży wpływ na dokładność przedmiaru materiałowego. Wykazane różnice w zużyciu materiałów, które sięgają kilku procent, mają wpływ na oszacowanie kosztów wykonania konstrukcji. Wraz ze wzrostem poziomu zaawansowania zwiększa się szczegółowość modelu oraz dokładność przedmiaru materiałowego. ■

*Podziękowania: Chciałbym serdecznie podziękować Panu mgr. inż. Łukaszowi Radzikowi za okazane wsparcie oraz motywację podczas tworzenia powyższej publikacji.*

DOI: 10.5604/01.3001.0013.3418

## Bibliografia

- [1] <http://bimforum.org> „Level of Development Specification Guide”, November 2017.
- [2] <http://www.bzq.pl> „Przedmiar robót w zamówieniach publicznych”, Buduj z głową, 2/2009.
- [3] <http://bimblog.pl> „Czym jest BIM?”, 2012.

**Streszczenie: Model BIM na poziomie.** Z projektowaniem budowy z wykorzystaniem technologii BIM wiąże się kilka zagadnień, które nie występowały w projektowaniu z wykorzystaniem rysunków płaskich. Jednym z nich jest poziom zaawansowania modelu (ang. *Level of Development*). Skuteczne wykorzystanie technologii BIM wymaga jego znajomości, a decyzyja o użyciu podczas modelowania wybranego poziomu wpływa na możliwość wykorzystania modelu w poszczególnych zadaniach procesów budowlanych. Przedmiotem artykułu jest wpływ różnic w modelach budynku, wynikających z modelowania na wybranym poziomie zaawansowania, na dokładność automatycznie wykonywanego przez oprogramowanie przedmiaru materiałowego. Różnice zostały omówione na zasadzie porównania modeli o różnych stopniach zaawansowania. W artykule omówione zostały również poziomy zaawansowania modelu określone przez American Institute of Architects.

**Słowa kluczowe:** BIM, LOD, przedmiar materiałowy

**Abstract: BIM model on the level of development.** In using BIM technology in designing structures are get involved a few questions, which did not perform in designing using flat sketches. One of that is Level of Development. Subject of the article is impact of differences in buildings models on bill of quantities precision. Differences will be discuss on comparison models in different LOD's levels.

**Keywords:** BIM, LOD, bill of quantities

# FIBROBETON

## Wybrane wyniki badań



**mgr inż. Filip Grzymski**  
ORCID: 0000-0003-2083-8946  
Wydział Budownictwa Lądowego  
i Wodnego, Politechnika  
Wrocławska

W artykule przedstawiono wybrane wyniki badań dotyczące potencjału wykorzystania odpadów z obróbki skrawaniem jako substytutu włókien stalowych dostępnych na rynku. Podstawowe parametry wytrzymałościowe fibrobetonu uzyskanego z użyciem proponowanych włókien zostały porównane z materiałami referencyjnymi – betonem bez zbrojenia oraz fibrobetonem ze stalowymi włóknami haczykowatymi.

Beton zbrojony włóknami, popularnie nazywany fibrobetonem, jest materiałem coraz częściej stosowanym w posadzkach przemysłowych. Niskie nakłady pracy wykonania elementów fibrobetonowych w porównaniu do klasycznego żelbetu, połączone z ich dobrymi właściwościami mechanicznymi, w określonych przypadkach rekompensują wyższą cenę materiału. Najistotniejszą cechą fibrobetonu jest jego praca pod wpływem naprężeń rozciągających. W przypadku betonu, będącego typowym kruchym materiałem o wysokiej wytrzymałości na ściskanie i ponad dziesięciokrotnie niższej wytrzymałości na rozciąganie, obserwuje się jego całkowite zniszczenie już przy niewielkich wartościach naprężeń rozciągających (rzędu 2–3 MPa dla typowych betonów zwykłych). Fibrobeton charakteryzuje się innym mechanizmem zniszczenia – po pęknięciu matrycy betonowej jest on w stanie przenosić część obciążeń, co spowodowane jest włączaniem się zawartych w nim włókien do współpracy.

Koncepcja wykorzystania włókien w celu poprawy właściwości mechanicznych betonu znana jest już od kilkudziesięciu lat, jednak intensywne badania i rozwój w tym zakresie rozpoczęły się w latach 70. XX wieku [1]. Ponad 40 lat rozwoju technologii fibrobetonów doprowadziło do powstania szerokiego spektrum włókien o różnych kształtach i wymiarach, które wykonane mogą być z wielu materiałów. Poza najpopularniejszymi włóknami stalowymi stosuje się m.in. włókna szklane, węglowe oraz wykonane z materiałów syntetycznych i tekstylnych [2, 3].

### Wpływ włókien na fibrobeton

Według literatury fibrobeton zaliczany jest do grupy betonów specjalnych, czyli takich, które mają specjalne przeznaczenie i cechują się odpowiednimi właściwościami [4]. Istotnym mechanizmem, spowodowanym przez dodatek włókien, jest zmniejszenie koncentracji naprężeń – w szczególności rozciągających. Włókna równomiernie rozproszone w betonie mostkują jego nieciągłą strukturę, która wynika z mikropęknięć lub zarysowań matrycy. W przypadku betonu niezbrojonego obserwuje się dużą koncentrację naprężeń w obrębie pęknięcia, co negatywnie wpływa na wytrzymałość tej strefy. Obecność włókien pozwala na przenoszenie sił powstałych w wyniku obciążeń z jednej strony pęknięcia na drugą, co znacznie redukuje spiętrzenie naprężeń na krawędzi zarysowania. Zjawisko to umożliwiło ograniczenie przekształcania mikrozarysowań w większe pęknięcia [5], co pozwala na zachowanie integralności elementu fibrobetonowego po zarysowaniu. Fibrobeton w przeciwieństwie do betonu nie zachowuje się jak materiał kruchy, lecz wykazuje właściwości quasi-plastyczne. Elementy fibrobetonowe po zarysowaniu są w stanie dalej przenosić obciążenia i odkształcać się [5]. W zależności od zastosowanej normy pozasprężysta praca fibrobetonu opisywana jest jako odporność na pęknięcie, wytrzymałość równoważna na zginanie lub wytrzymałość resztkowa na zginanie. Odpowiadające tym parametrom normy i sposoby ich wyznaczania zostały przedstawione m.in. w [3] i [6]. Poza

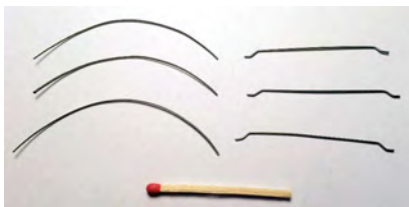
poprawą właściwości betonu pod wpływem naprężeń rozciągających włókna w określonych warunkach pozwalają na zwiększenie wytrzymałości betonu na ściskanie [1, 3], jednak rozluźnienie i zaburzenie struktury matrycy może w niektórych przypadkach doprowadzić do obniżenia wytrzymałości na ściskanie materiału [7]. Dodatkowym benefitem stosowania włókien do zbrojenia betonu jest poprawa jego odporności na obciążenia o charakterze dynamicznym [5] oraz zwiększenie odporności na uderzenia [3].

### Fibrobeton z włóknami z recyklingu

Celem wykonanych badań laboratoryjnych była ocena potencjału wykorzystania stalowych włókien z recyklingu jako zbrojenia rozproszonego do betonu. Proponowane włókna otrzymane zostały jako odpad procesu obróbki skrawaniem. Geometria odpadów otrzymanych podczas obróbki elementów metalowych w tokarce jest bardzo zróżnicowana, dlatego wiele typów odpadów zostało odrzuconych już przy wstępnej selekcji ze względu na ich nieodpowiedni kształt. Wśród pozostałych skrawków wytypowano włókna o geometrii najbardziej zbliżonej do włókien stosowanych powszechnie w budownictwie. Porównanie kształtu proponowanych włókien z typowymi włóknami haczykowatymi przedstawiono na rys. 1.

W celu sprawdzenia efektywności włókien stalowych z recyklingu przeprowadzono badania porównawcze z udziałem trzech serii próbek: I – betonowych, II – fibrobetonowych





Rys. 1. Wykorzystane w badaniach włókna z recyklingu (z lewej) oraz włókna haczykowate (z prawej)

	$f_{ct,fl}$ [MPa]	$f_{ct,eq}$ [MPa]	$R_{eq}$ [%]
Brak włókien	3,06	-	-
Włókna referencyjne	3,95	2,83	71,83
Włókna z recyklingu	4,36	0,50	11,36

Tabela 1. Wyznaczone wartości charakteryzujące pracę materiałów przy zginaniu

wykonanych z użyciem włókien haczykowatych ArcelorMittal HE 75/50, III – fibrobetonowych wykonanych z użyciem proponowanych włókien. Receptura mieszanki betonowej nie ulegała zmianom w poszczególnych seriach (ilości na 1 m<sup>3</sup> mieszanki betonowej: cement 42,5R – 350 kg, woda – 143 kg, kruszywo 0–2 mm – 640 kg, kruszywo 2–8 mm – 640 kg, kruszywo 8–16 mm – 640 kg, superplastyfikator – 3,15 kg, wskaźnik w/c – 0,41), a jedynym elementem różniącym były zastosowane włókna stalowe. W przypadku serii II i III zastosowano włókna w dawkowaniu 25 kg/m<sup>3</sup>. W badaniach wyznaczono podstawowe parametry wytrzymałościowe materiałów, takie jak: wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu oraz wartości opisujące pozasprężystą pracę fibrobetonu.

### Parametry wytrzymałościowe

Mieszanki betonowe wykorzystane w trzech przebadanych seriach zostały wykonane w różnych partiach, przez co wystąpiły rozbieżności wyników badań podstawo-

wych parametrów wytrzymałościowych. Beton serii I charakteryzował się średnią wytrzymałością na ściskanie 41,6 MPa ze współczynnikiem zmienności 2,6%, n=3. W badaniu wytrzymałości na ściskanie fibrobetonów serii II i III otrzymano średnie wytrzymałości na ściskanie i współczynniki zmienności odpowiednio 53,7 MPa (3,0%, n=3) oraz 69,0 MPa (4,9%, n=3). Tak duże rozbieżności w wytrzymałości na ściskanie najprawdopodobniej nie są spowodowane różnicami w pracy materiałów, lecz wilgotnością kruszywa wykorzystanego przy przygotowaniu poszczególnych serii. W związku z tak dużymi różnicami w wynikach do porównania najważniejszej cechy fibrobetonu, czyli jego pozasprężystej pracy, wykorzystano procentowy wskaźnik wytrzymałości równoważnej wyznaczany przy pomocy wzoru (1) przekształconego na podstawie wytycznych normy ASTM C1609 [8]. Wartości wytrzymałości równoważnej na zginanie i wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu fibrobetonu (przy założeniu zginania 4-punktowego z odległością między siłami L/3) wyznaczone są odpowiednio ze wzorów (2) i (3) [9]. Średnie wartości parametrów wytrzymałościowych wyznaczonych na podstawie 3 próbek każdego rodzaju przedstawiono w tab. 1.

$$R_{eq} = \frac{f_{ct,eq}}{f_{ct,fl}} \cdot 100\% \quad (1)$$

$$f_{ct,eq} = \frac{T_b \cdot l}{\delta_{1/150} \cdot b \cdot h^2} \quad (2)$$

$$f_{ct,fl} = \frac{P \cdot l}{b \cdot h^2} \quad (3)$$

gdzie:

$R_{eq}$  – wskaźnik wytrzymałości równoważnej na zginanie fibrobetonu,

$f_{ct,eq}$  – wytrzymałość równoważna na zginanie fibrobetonu,

$f_{ct,fl}$  – wytrzymałość na zginanie fibrobetonu,  $T_b$  – praca zginania mierzona na podstawie pola powierzchni pod wykresem  $F-\delta$  (siła – ugięcie) do wartości ugięcia  $\delta_{1/150}$ ,

$\delta_{1/150}$  – wartość ugięcia belki odpowiadająca wartości 1/150 rozpiętości między podporami,

$P$  – maksymalne obciążenie belki w chwili pierwszego zarysowania,

$b$  – szerokość belki,

$h$  – wysokość belki,

$l$  – rozpiętość belki w osiach podpór.

Wartość wskaźnika wytrzymałości równoważnej na zginanie wynosząca około 72% w przypadku fibrobetonu z włóknami referencyjnymi jest typowa dla zastosowanego typu i zawartości włókien. Pomimo wyższej wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu fibrobeton z włóknami z recyklingu charakteryzował się znacznie niższą wytrzymałością równoważną na zginanie niż materiał referencyjny, co spowodowało, że wartość wskaźnika wytrzymałości równoważnej wyniosła około 11%. Sugerować to może około 6-, 7-krotnie gorszą skuteczność proponowanych włókien.

### Obrazy zniszczenia próbek

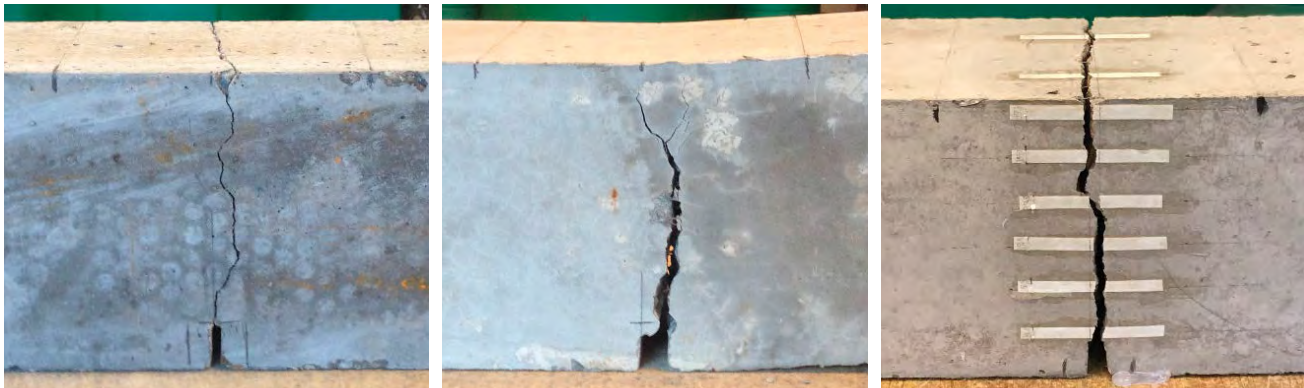
Podczas badań zauważono, że charakter pracy materiału w każdej z trzech serii jest inny. Zniszczenie fibrobetonu, niezależnie od typu próby, przebiega w sposób znacznie mniej gwałtowny niż ma to miejsce w przypadku betonu zwykłego. Już przy badaniu wytrzymałości na ściskanie zaobserwowano znacznie wolniejsze zniszczenie próbek fibrobetonowych II i III serii. Włókna stalowe w matrycy utrzymywały zniszczone kawałki betonu przy rdzeniu próbki. W przypadku serii z włóknami haczykowatymi fragmenty próbki, pomimo wielu pęknięć, trzymały się razem stosunkowo mocno. Elementy wykonane z wykorzystaniem włókien z recyklingu można było łatwo rozdzielić na części bez użycia dużej siły i narzędzi, ponieważ włókna łatwo wywlekały się ze zniszczonej matrycy lub zrywały się. Przykładowe obrazy zniszczenia elementów ściskanych przedstawiono na rys. 2.

Przy badaniu belek betonowych zgodnie z oczekiwaniami zaobserwowano kruche pęknięcie przechodzące przez cały przekrój środkowy próbki. Belki fibrobetonowe z włóknami haczykowatymi początkowo zachowywały się identycznie jak belki betonowe, lecz po zarysowaniu powoli przechodziły



Rys. 2. Porównanie obrazów zniszczenia próbek ściskanych w seriach (od lewej) I, II i III





Rys. 3. Porównanie obrazów zniszczenia próbek zginanych w seriach (od lewej) I, II i III

w fazę plastyczną i nie traciły swojej integralności, również po wyjęciu z prasy. W przypadku próbek wykonanych z fibrobetonu z włóknami z recyklingu praca przed zarysowaniem nie różniła się od dwóch pozostałych serii. Po zarysowaniu zanotowano nagły duży przyrost ugięć belek, który ograniczany był przez włókna dopiero po powstaniu rysy o dużej rozwarości. W następnej fazie belka zachowała się podobnie do fibrobetonu serii II, lecz po wyjęciu z prasy możliwe było jej przełamanie bez użycia dużej siły. Przykłady środkowych części zniszczonych w badaniach belek przedstawiono na rys. 3.

### Czynniki technologiczne

Już na etapie wykonania próbek zauważono problemy technologiczne proponowanych włókien. W porównaniu z włóknami haczykowatymi charakteryzowały się one znacznie większą skłonnością do łączenia w grupy, co utrudniało ich dozowanie i odpowiednio rozprowadzenie w matrycy betonowej. Dodatkowo, wskutek ich mniejszej sztywności, ulegały one częściowej deformacji, co zwiększało ich skłonność do agregacji. Ze względu na odpadowy charakter materiału, z którego wykonane zostały włókna, nie było możliwe wykonanie ich z jednego gatunku stali. Dostarczony do badań materiał składał się z mieszaniny odpadów o zróżnicowanej geometrii, które uzyskano w wyniku obróbki elementów stalowych o różnych właściwościach. Dodatkowo odpady z obróbki skrawaniem mają naturalną tendencję do zwijania się, dlatego w przypadku planowania wytworzenia tego typu włókien na większą skalę konieczne byłoby rozwiązanie tego problemu.

### Podsumowanie

Proponowane włókna spełniły częściowo swoją rolę jako zbrojenie rozproszone do betonu, jednak ich praca nie jest tak efektywna, jak włókien dostępnych na rynku. Próbkę wykonaną z fibrobetonu z włóknami z recyklingu, zależnie od typu badania, wykazywały cechy zarówno betonu, jak i typowego fibrobetonu. Wzmocnienie materiału

oraz włączenie efektów pozaspęrzystej pracy za pomocą badanych włókien utrzymuje się na stosunkowo niskim poziomie (około 6-, 7-krotnie niższa efektywność w porównaniu do materiału referencyjnego) i nie jest wystarczająco duże, żeby móc uwzględnić je w obliczeniach. Dodatkowo problemy technologiczne przy otrzymywaniu samych włókien obniżają ich wartość w wielkoskalowym zastosowaniu. Ponadto stal jest materiałem, który można łatwo poddać recyklingowi w tradycyjny sposób, dzięki czemu uzyskuje się pełnowartościowy materiał do produkcji klasycznych włókien do betonu. Warto jednak zaznaczyć, że nie odnotowano pogorszenia pracy betonu po dodaniu włókien z recyklingu, więc ich niekonstrukcyjne zastosowanie jest możliwe. Może to pozwolić na ograniczenie wpływów zarysowania od skurczu lub od niewielkich obciążeń. Ostatecznie na podstawie wyników badań stwierdzono, że badany sposób wykorzystania odpadów z obróbki skrawaniem nie ma perspektyw do szerszego zastosowania w przemyśle budowlanym. ■

DOI: 10.5604/01.3001.0013.3419

### Bibliografia

- [1] Holschemacher K., Mueller T., Ribakov Y., Effect of steel fibres on mechanical properties of high-strength concrete, "Materials and Design", 2010, Vol. 31, No. 5, s. 2604-2615.
- [2] Shah A. A., Ribakov Y., Recent trends in steel fibered high-strength concrete, "Materials and Design", 2011, Vol. 32, No. 8-9, s. 4122-4151.
- [3] Glinicki M., Beton ze zbrojeniem strukturalnym, Materiały XXV Ogólnopolskiej Konferencji „Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji”, Szczyrk 2010, s. 279-308.
- [4] Jamroz Z., Beton i jego technologie. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008.
- [5] Jasiczak J., Mikołajczak P., Technologia betonu modyfikowanego domieszkami i dodatkami – przegląd tendencji krajowych i zagranicznych. Poznań, Oficyna Wydawnicza Politechniki Poznańskiej, 2003.
- [6] Grzymalski F., Musiał M., Fibrobeton. Metodyka badań właściwości wytrzymałościowych, „Builder”, 2017, No. 6, s. 90-93.
- [7] Neves R.D., Fernandes de Almeida J. C. O., Compressive behaviour of steel fibre reinforced concrete, "Structural Concrete", Vol. 6, No. 1, s. 1-8.
- [8] ASTM C1609 Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading), 2012.
- [9] JSCE-SF4, Method of Test for Flexural Strength and Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete, Japan Society of Civil Engineers, 1984.

**Streszczenie:** Zbrojenie betonu włóknami stalowymi jest coraz częściej wykorzystywaną metodą zwiększania jego odporności na zarysowanie i pękanie. Najszersze zastosowanie w praktyce znalazło ono w przypadku posadzek przemysłowych. Różnorodność dostępnych na rynku włókien pozwala na spełnienie zróżnicowanych kryteriów projektowych, a włókna stalowe najnowszej generacji umożliwiają niekiedy całkowitą rezygnację z klasycznego zbrojenia prętami, nawet w przypadku silnie obciążonych posadzek. W artykule przedstawiono wybrane wyniki badań dotyczących potencjału wykorzystania odpadów z obróbki skrawaniem jako substytutu włókien stalowych dostępnych na rynku. Podstawowe parametry wytrzymałościowe fibrobetonu uzyskanego z użyciem proponowanych włókien zostały porównane z materiałami referencyjnymi – betonem bez zbrojenia oraz fibrobetonem ze stalowymi włóknami haczykowatymi. Dodatkowo przedstawiono analizę czynników technologicznych, które mają duży wpływ na zasadność stosowania badanego materiału.

**Słowa kluczowe:** fibrobeton, właściwości mechaniczne, włókna stalowe, włókna z recyklingu

**Abstract:** Fiber-reinforced concrete. Selected test results. Reinforcing concrete with steel fibers is an increasingly used method of improving its cracking resistance. The most common application of such kind of reinforcement is associated with industrial floors. The variety of the fibers available on the market allows to meet different project criteria. The newest generation of steel fibers makes it possible to omit classical steel rebars in some cases despite high load levels. In this paper selected research results regarding the potential of using machining wastes as a substitute to steel fibers available on the market are presented. The most important mechanical properties of proposed fiber reinforced concrete and two reference materials – concrete and typical fiber reinforced concrete are compared. Additionally, the analysis of key technological factors was carried out.

**Keywords:** fiber reinforced concrete, mechanical properties, steel fibers, recycled fibers

# Rozważania o przestrzeniach publicznych



prof. dr inż. arch. Marek Budzyński  
ORCID: 0000-0001-5985-3727



mgr inż. arch. Krystyna Ilmurzyńska  
ORCID: 0000-0003-0954-3864

Przedmiotem artykułu są rozważania o podstawach funkcjonowania przestrzeni publicznej we współczesnym mieście wobec zaniku tradycyjnych sposobów użytkowania tej przestrzeni, które uformowały historyczne miasta.

Należą do nich: targi na rynkach; drobny handel i rzemiosło; życie instytucjonalne związane z władzą (waga, pręgierz, tawa miejska); dostęp do podstawowych zasobów (studnia); przekazywanie informacji (zegar na ratuszu, ogłoszenia, spotkania); przemieszanie mieszkań, usług, administracji, drobnej produkcji. Spędzanie czasu wolnego przeniosło się do budynków: mieszkań, galerii handlowych, centrów rozrywki. Tym samym funkcje prestiżowe, jakie towarzyszyły np. alejom – „salonom miejskim” lub placom przed obiektami władzy, kultu, kultury – utraciły żywotny element życia codziennego. *Sacrum* pozostało bez *profanum*. Funkcje informacyjne w coraz większym stopniu są przejmowane przez internet i media.

## Pytanie o społeczność miejską

Pytanie o przestrzeń publiczną miasta jest pytaniem o społeczność miejską. Czy ona istnieje i czemu ma służyć? Komu i do czego jest potrzebna? Według niektórych socjologów w wyniku procesów metropolizacji „płaszczyzną relacji społecznych staje się nie miejsce, ale przestrzeń przepływów” [1]. W nowoczesnych metropoliach opartych o ponadlokalne połączenia międzynarodowe: transportu, wymiany informacji, myśli i pieniędzy, przestrzeń społeczna funkcjonuje w warstwie wirtualnej. Zagospodarowywanie przestrzeni wokół ukształtowanych historycznie centrów miejskich odbywa się w oparciu o procesy rynkowe oraz spekulacje na różnicach wartości gruntów. Prowadzą one do powstania miasta rozproszonego, powtarzającego mo-



1. Przestrzeń publiczna przed ratuszem dzielnicy Ursynów – atrakcyjnie zagospodarowany wynikowy fragment przestrzeni komunikacyjnej alei KEN



2. Plac przed kościołem Wniebowstąpienia Pańskiego na Ursynowie Północnym – tradycyjna w formie, działająca i akceptowana społecznie przestrzeń publiczna

dermistyczne schematy segregacji funkcji mieszkania, pracy, usług i wypoczynku w postaci zwartej lub rozproszonej zabudowy mieszkaniowej, centrów handlowo-usługowych, skupisk miejsc pracy, ośrodków rozrywkowych lub sportowych. Działanie wszystkich tych funkcji jest uzależnione od transportu kołowego. Przestrzenie komunikacyjne są podstawową wspólną przestrzenią społeczności miejskiej i tak są postrzegane. Przestrzeń publiczna w takim układzie nie powstaje samoczynnie. Może być tworzona z inicjatywy aktywnych członków lokalnej społeczności, w ramach publicznych inwestycji z funduszy europejskich, przez deweloperów jako element podnoszący wartość inwestycji. Traktowana jest jako czynnik podnoszący jakość życia, ale już nie jako integralna część życia codziennego. Wynika to z segregacji funkcji: powstają placiki mieszkaniowe z podstawowymi usługami, atrakcyjnie zagospodarowane przestrzenie przed galerią handlową, przed kościołem, biurowcem, ratuszem (fot. 1.). W miejsce kształtowania przestrzeni publicznej za pomocą pierzei budynków i ich funkcji uciekamy się do zagospodarowywania wynikowych fragmentów przestrzeni komunikacyjnych, przy których usytuowano budynki usługowe lub użyteczności publicznej. Mają one podnosić atrakcyjność obiektu w kategoriach komercyjnych lub jego prestiż.

### Miasto zwarte i rozproszone

Przestrzeń współczesnego miasta powstaje w wyniku równoległej realizacji dwóch sprzecznych modeli: miasta zwartego i rozproszonego. Obydwa rozwijają się pod wpływem globalnych uwarunkowań: rozwoju komunikacji oraz rzeczywistości wirtualnej. Miasto zwarte to miasto maksymalnej koncentracji zabudowy, przemieszania i intensyfikacji funkcji usług, miejsc pracy, mieszkań. W mieście zwartym realizują się ambicje metropolitalne, związane z kumulacją kapitału i wirtualnej, spekulacyjnej wartości gruntu oraz intensywności zabudowy na nim. Zdarza się, że intensywność zaludnienia miasta zwartego i koncentracja miejsc pracy oraz usług sprawia, że życie samoistnie wypełnia przestrzeń między budynkami, nadając im cechy przestrzeni publicznej. Funkcjonowanie przy wysokiej koncentracji zabudowy, funkcji i ludzi wymusza powstanie porządku w przestrzeni – sieci ulic, które stają się pulsującą życiem przestrzenią publiczną. W większości wypadków jednak wynikająca ze zwartości zabudowy intensywność ruchu samochodowego powoduje wyparcie życia lub wymusza wyparcie zabudowy na rzecz arterii komunikacyjnych. Miasta zwarte w sensie pozytywnym funkcjonują na określonym poziomie ekonomicznym i przez to tworzą „ład wykluczeń” [2], ograniczający społeczność miasta zwartego do coraz węższej grupy ekonomicznej.

Miasto rozproszone tworzone jest poprzez poszukiwanie wysokiej jakości warunków życia powstających przez kontakt z przyrodą, dą-

Istotą miasta jest mieszanie się ruchu pieszego i kołowego w strefach mieszkaniowych, produkcyjnych, usługowych oraz administracyjnych.

żenie do izolacji od intensywności życia miejskiego, różnice wartości gruntu w mieście i poza miastem. Miasto rozproszone tworzy warunki powstania przestrzeni prywatnych i grupowych, czyli podwórek mieszkalnych oraz komercyjnych przestrzeni półpublicznych. Nie wytwarza klasycznych miejskich przestrzeni publicznych, chociaż mogłyby one powstawać za sprawą planu urbanistycznego, na przykład w powiązaniu z przystankiem szybkiej kolei miejskiej, zgodnie z koncepcją Transit Oriented Development [3].

Wpływ urbanistyki modernizmu i rozrastanie się miast spowodowały równocześnie zanik przestrzeni miejskich w nowych dzielnicach miast oraz rosnącą potrzebę kontaktu z przyrodą, szczególnie w sferze czasu wolnego. Skutkiem tego dla mieszkańców miasta zmalało znaczenie przestrzeni publicznej o charakterze miejskim, jak również poczucie konieczności kształtowania takiego charakteru przestrzeni. Całkowity brak przestrzeni publicznej lub zawłaszczenie jej przez ruch kołowy budzi jednak potrzebę odtwarzania wartości z nią związanych. W sferze swobody zachowań oraz egalitaryzmu społecznego i ekonomicznego tradycyjny plac przed kościołem oferuje większą wolność niż galerie handlowe.

### Dwie drogi

Istotą miasta jest mieszanie się ruchu pieszego i kołowego w strefach mieszkaniowych, produkcyjnych, usługowych oraz administracyjnych. Relacje między tymi elementami stanowią podstawę relacji miejskich. Jeśli proporcje między nimi są zaburzone, nie działa ani miasto, ani jego przestrzeń publiczna. Wśród współczesnych prób kształtowania przestrzeni publicznych w mieście można wyróżnić dwie drogi.

Pierwsza to próby przywrócenia społecznych wartości miasta tradycyjnego poprzez regulacje przestrzenne powiązane z administracyjnymi. Kształtowanie struktury przestrzennej i przestrzeni publicznych w kategoriach tradycyjnych. Droga ta oparta jest o przestrzeń publiczną jako istotę mitu miasta tradycyjnego, związków przestrzeni z życiem osoby, społecznym i demokracją lokalną. W kategoriach zarówno przestrzennych, jak i relacji międzyludzkich powstała idea dzielenia superskupisk miejskich na drobnoziarniste oraz ustanawiania w nich pełnej samorządowej władzy lokalnej. Lokalność tego typu miast w mieście musi być regulowana infrastrukturą techniczną, pięknem i przyrodą. Nad tym wszystkim musi istnieć struktura organizacyjna ustalająca reguły funkcjonowania – władza lokalna [4].



3. Pasaż Ursynowski



4. Plac Europejski w Warszawie – przestrzeń publiczna jako istota mitu wielkiego miasta zwartego

Idea dzielenia wielkich skupisk odwołuje się do małych miast. Tradycja śródmieścia ulokowana jest tam w historycznej części, z której korzystają również powojenne dzielnice mieszkaniowe powstałe poza historycznym śródmieściem. Powstaje pytanie, czy modernizm lub szerzej – nowoczesność – wytworzyły nowy, lepszy typ przestrzeni publicznej. Sprzeciwia się temu myślenie konserwatywne, według którego miasto przeszłości było czymś wspaniałym. Relacje ludzi w małych miastach historycznych jawią nam się jako wzorzec, który potrzebujemy przenieść w świat ujednoliceń globalizacyjnych. Droga ta nie jest zauważana w istocie nurtu, którą jest tworzenie czegoś zupełnie nowego (tak jest przedstawiany np. plac Europejski w Warszawie).

Przykładem podejścia tradycyjnego do przestrzeni publicznej jest plac przed kościołem Wniebowstąpienia Pańskiego na Ursynowie Północnym (fot. 2.) wraz z Pasażem Ursynowskim (fot. 3.) – tradycyjna w formie, działająca i akceptowana społecznie przestrzeń publiczna; niefunkcjonująca we współczesnym dyskursie profesjonalnym w warstwie krytyki architektury oraz sztuki, bo nie odpowiada kryteriom nowoczesności, awangardy. Ten plac nigdy by nie powstał po roku 2000. Stworzono go na przełomie lat 80. i 90., w sytuacji zaniku obu systemów. Braku uformowania się dwóch sił. Walka między nimi stworzyła przestrzeń, w którą można było wejść ze swoją ideą i być pozytywnie potraktowanym przez obie walczące siły. Okres ten trwał od drugiej połowy lat 70. do połowy lat 90. Nie wiemy, jaki jest status formalny placu, nie ma nawet nazwy. Część placu należy do Kościoła. Kościół nie ogrodził swojego terenu – przyjął, że jest on fragmentem placu. Pasaż Ursynowski w całości wytyczono na terenie spółdzielczym. Jediną osobą z jasnym poglądem, jak ma być, był projektant. Ten pogląd został przyjęty przez dysponentów terenów: Kościół (proboszcza Tadeusza Wojdatę) i Spółdzielnię (prezesa Krzysztofa Kołodkę). W XXI wieku projektant ze swoimi poglądami „jak ma być” został całkowicie wyłączony ze sfery decyzyjno-realnej.

Druga droga kształtowania współczesnego miasta to poszukiwanie nowego typu przestrzeni publicznej w oparciu o aktualne cechy życia miejskiego. Powstają przestrzenie „korporacyjne” lub rekreacyjne, związane w przeważającej mierze ze spędzaniem czasu wolnego. Obserwujemy wprowadzanie funkcji sportu, rekreacji i masowej konsumpcji do przestrzeni publicznych. Do tego nurtu można zaliczyć również przestrzenie publiczne urządzone dla celów prestiżu, symbolu lub określonej estetyki, a nie funkcji życia społecznego, odpowiadające mitowi wielkiego miasta, takie jak plac Solidarności na Centrum Dialogu Przełomy w Szczecinie czy plac Nowy Targ we Wrocławiu.

Z drogą tą wiąże się sens przestrzeni publicznej jako istoty mitu wielkiego miasta zwarteo, związanego z wielkimi centrami finansowymi i władzy. Miasta zwarte przyciągają ludzi mitem „od pucybu-

Dzielenie superskupisk miejskich na drobnoziarniste i ustanawianie w nich pełnej samorządowej władzy lokalnej musi być regulowane infrastrukturą techniczną, pieniędzmi oraz przyrodą.

ta do milionera”. Często pozostają oni w wielkim mieście w zawodach obsługujących. Mit spełnia się w byciu częścią społeczności miasta oraz podtrzymaniu nadziei na włączenie do elity. Mit ciągnie do strefy śródmiejskiej, lokalizacji współczesnych i historycznych obiektów władzy, wytwarzających mit ciągłości elit. W przestrzeniach tych obiektów oraz w śródmiejskich przestrzeniach publicznych następuje naturalny ruch przenikania do elit. Istnieje zjawisko zawężania się elit, a tym samym możliwości przenikania do nich. To buduje z jednej strony chęć zdestruowania układu, z drugiej strony – niezależnego formowania odmiennej organizacji społeczeństwa i przestrzeni z tym związanej.

### W poszukiwaniu przestrzeni

Istnieje również nurt przekształcania związków o charakterze państwowym i miejskim w globalne, który wiąże się z aprzeźrennością. Jednak przez imperatyw ludzkiego szukania związków w przestrzeni pojawia się tendencja do nazywania intensywnych skrzyżowań miejskich oraz przepływów mas ludzi przestrzenią publiczną i do tworzenia centrów – poza strukturami miejskimi oraz państwowymi. Nowe struktury organizacyjne w mieście przejmują role odgrywane dotychczas przez władze miasta i państwa. Inwestycja o charakterze globalnym przejmuje życie lokalne. Przykładem takiego działania mogą być galerie handlowe oraz restauracje McDonald's [5], które przejmują życie lokalne z historycznych rynków i ulic handlowych.

Przykładem poszukiwania nowego typu przestrzeni publicznej jest plac Europejski w Warszawie [6]. Powstał on na działce prywatnej jako część założenia biurowego wokół wieżowca Warsaw Spire na terenie dawnych zakładów przemysłowych na warszawskiej Woli. Deweloper, firma Ghelamco, sfinansował urządzenie publicznie dostępnego placu-skweru łączącego elementy krajobrazowe – zieleń wysoką oraz założenia wodne, kulturowe – ekspozycję dzieł sztuki i murale, oraz komercyjno-rozrywkowe – kawiarnie, restauracje, kino letnie, ślizgawka. Na co dzień plac służy jako miejsce odpoczynku pracownikom z przyległych biurów, wieczorami oraz w dni świąteczne – jako przestrzeń spędzania wolnego czasu przez okolicznych mieszkańców. Plac ma charakter wyłącznie pieszy, lecz bliskość stacji metra i prestiżowa pozycja Warsaw Spire nadają mu znaczenie ponadlokalne (fot. 4. 8.).

Równolegle rozwija się idea przypisywania intensywnie użytkowanemu przestrzeniom w mieście roli przestrzeni społecznych. Próby



5. Plac przed Halą Koszyki w Warszawie – próby tworzenia nowego życia na podstawie starych układów



6. Plac Zbawiciela w Warszawie – przestrzeń społeczna wokół przestrzeni komunikacyjnej

tworzenia na podstawie starych układów nowego życia (plac przed Halą Koszyki, fot. 5.), ale także przypisywania skrzyżowaniom ulicznym funkcji przestrzeni społecznych, dla których światowym wzorcem jest Shibuya w Tokio lub Times Square w Nowym Jorku. W Warszawie taką przestrzenią stał się plac Zbawiciela (fot. 6.). Popularność miejsc intensywnego ruchu kołowego zaprzecza utożsamianiu przyjaznej i dostępnej przestrzeni publicznej z przestrzenią wyłączającą ruch pieszego. Na skrzyżowaniach miejskich problem dostępności oraz niedostępności jest regulowany w czasie, a nie wykluczeniem z przestrzeni.

### Superorganizacja a efekty uboczne

Mysł formowana przez syntezę różnych sił funkcjonujących w mieście, budująca cechę miasta – łączenie różnorodności – została wyeliminowana na rzecz poglądów superorganizacji: przedsiębiorstw handlowych, korporacji międzynarodowych lub interesów wielkiego przedsiębiorcy odpowiedzialnego za dostarczanie elektryczności, ciepła czy budowania sieci transportowej rozbitej na samochodową, tramwajową, autobusy, metro, ścieżki rowerowe. Integracja tych interesów na poziomie odbiorcy jest dużo prostsza przy ograniczonej wielkości terenu i liczby ludzi na nim żyjących, niż synteza z pozycji interesu dostawcy ciepła, energii czy układu drogowego.

W Warszawie największy potencjał życia społecznego wydają się mieć przestrzenie powstałe jako efekt uboczny inwestycji ogólnomiejskich (głównie transportowych) lub niezależnie od nich. Należą do nich np. „patelnia” przy stacji metra Centrum, przestrzenie publiczne przy stacjach metra, przestrzenie przejść podziemnych, bazarów, miejsca, w których życie wynika ze skupienia przystanków komunikacji, straganów, ogródków kawiarnianych. Są to często przestrzenie uznawane za „nieurządzone” i „niezagospodarowane”, lecz intensywnie użytkowane, o wyrazistej funkcji społecznej (fot. 7.). Mają potencjał wytworzenia formy miejskiej przestrzeni publicznej, o ile będzie ona syntezą istniejących sposobów użytkowania.

Równoległe z rozwojem lokalnych przestrzeni publicznych poza centrum miasta należy zapewnić w nich miejsce globalizacji. Na przykład przy al. KEN na Ursynowie lub w rejonach wyjść z metra, gdzie z powodów technologicznych budowano obiekty parterowe, i w innych częściach miasta, wykorzystując współczesne możliwości, budować alokalnie, intensywnie, prospołecznie. ■

Drogą kształtowania współczesnego miasta jest poszukiwanie nowego typu przestrzeni publicznej w oparciu o aktualne cechy życia miejskiego.

Artykuł naukowy opublikowany w ramach projektu „Wsparcie dla czasopism naukowych” dofinansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (202/WNC2019/1).

### Bibliografia

- [1] Jallowiecki B., Szczepański M.S., Miasto i przestrzeń w perspektywie socjologicznej, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe Scholar 2010, s. 210.
- [2] Drzewiecki H., Ład, [w:] Podstawy i bariery rozwoju Warszawy, Warszawa, OW SARP 2000, s. 35-42.
- [3] Staniszkis M., Planowanie. Odnowa, Autoportret 1(56) 2017, s. 36-43.
- [4] Budzyński M., Utrzymanie życia jako podstawowa wartość przestrzeni miast, [w:] Wartościowanie współczesnej przestrzeni miejskiej, red. M. Marudowicz, Warszawa, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW 2010.
- [5] Springer F., Miasto archipelag, Karakter, Kraków 2016.
- [6] Brylski P., Plac Europejski, <https://placewarszawy.pl/pl/plac-europejski/plac/5>, dostęp: 15.07.2019.

**Streszczenie:** Przedmiotem artykułu są rozważania o podstawach funkcjonowania przestrzeni publicznej we współczesnym mieście wobec zaniku tradycyjnych sposobów użytkowania tej przestrzeni, które uformowały historyczne miasta. Przestrzeń publiczna może być odczytywana jako istota mitu miasta tradycyjnego lub jako istota mitu miasta zwartego – metropolii. Obydwa mity stanowią podstawę nowych dróg rozwoju miejskiej przestrzeni publicznej: lokalną i globalną. W Warszawie największy potencjał życia społecznego wydają się mieć przestrzenie uznawane za „nieurządzone” i „niezagospodarowane”, lecz intensywnie użytkowane, o wyrazistej funkcji społecznej. Mają one potencjał wytworzenia formy miejskiej przestrzeni publicznej, o ile będzie ona syntezą istniejących sposobów użytkowania. Równoległe z rozwojem lokalnych przestrzeni publicznych poza centrum miasta należy zapewnić w nich miejsce dla globalizacji.

**Słowa kluczowe:** przestrzeń publiczna, miasto w mieście, metropolie, globalizacja

**Abstract: Considerations on public spaces.** The scope of the article is the basis for contemporary urban public space in the face of diminishing of traditional ways of its functioning. The public space can be read as the essence of the myth of traditional historical city or of the myth of a compact city – metropolis. These two myths are the origin of the two basic ways of developing modern public spaces: local and global. As can be observed in Warsaw, the social potential moved to the random spaces surrounding the public transport stops. It is possible to create new living urban public space there, provided it synthesizes current functions.

**Key words:** public space, city in the city, metropolis, globalization



7. Rejon wejścia do stacji metra Stokłosy na Ursynowie Północnym – przypadkowo zagospodarowana przestrzeń, intensywnie użytkowana, o wyrazistej funkcji społecznej, z potencjałem wytworzenia formy miejskiej przestrzeni publicznej



8. Plac Europejski w Warszawie

# CYFRYZACJA W BUDOWNICTWIE



**mgr Anna Tryfon-Bojarska**  
ORCID: 0000-0002-5537-2755  
Skanska Commercial Development Europe,  
Szkoła Główna Handlowa,  
Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii  
**mgr inż. Ewelina Wińska**  
ORCID: 0000-0002-3363-2106  
Polsko-Japońska Akademia Technik  
Komputerowych

Wdrożenia innowacji w przedsięwzięciach budowlanych, które oparte są o aplikacje i rozwiązania systemowe IT, wymagają zastosowania zwinnych metodyk zarządzania takim projektem iteracyjno-przyrostowym, jak w przypadku produkcji oprogramowania. Przykładem jest opracowanie aplikacji w oparciu o rozszerzoną rzeczywistość do analizy danych przedsięwzięcia budowlanego.

Jesteśmy obecnie świadkami wielu zmian, które zachodzą we wszystkich gałęziach przemysłu. Rozwój firm – mający na celu: zwiększenie produktywności, optymalizację zasobów, wzrost zysków przy malejących kosztach – wymaga zastosowania innowacyjnych technologii [1]. Obecnie, w dobie czwartej rewolucji przemysłowej, przedsiębiorstwa przechodzą cyfrową transformację [2], która polega na łączeniu urządzeń w ramach cyfrowych ekosystemów oraz pogłębianiu integracji wewnątrz pionowych i poziomych łańcuchów wartości. Wyróżnia się dziewięć filarów tej transformacji:

1. **Maszyny Autonomiczne.**
2. **Produkcja addytywna, druk 3D, prefabrykacja.**
3. **Rozszerzona rzeczywistość** (ang. *augmented reality*), czyli technologia łącząca świat rzeczywisty z generowanym komputerowo.
4. **Symulacje scenariuszowe** bazujące na zaawansowanej analizie danych, systemach kognitywnych i uczeniu maszynowym.
5. **Pozioma i pionowa integracja systemów** polegające na integracji danych projektu w oparciu o standardy transferu danych (od dostawcy do klienta).

6. **Przemysłowy internet rzeczy** (ang. *Internet of Things*) – sieć obiektów fizycznych, które korzystają z technologii wbudowanych do komunikowania się z innymi urządzeniami [3].
7. **Systemy oparte o chmurę obliczeniową.**
8. **Cyberbezpieczeństwo** – ochrona systemów połączonych z internetem przed cyberatakami.
9. **Big Data.**

## Zwinne zarządzanie projektami

Polski rynek nieruchomości komercyjnych biurowych jest postrzegany jako ten, który ma duży potencjał innowacyjny. W ostatnich latach mieliśmy do czynienia z dynamicznym jego rozwojem. Deweloperzy w Polsce aktywnie poszukują nowych rozwiązań, które wyróżnią ich budynki na tle konkurencji, dlatego Polska staje się jednym z ważniejszych eksporterów takich innowacji. Duże znaczenie mają tu rozwiązania, które wspierają tworzenie tzw. cyfrowego bliźniaka fizycznego budynku, czyli cyfrowych zapisów fizycznych i funkcjonalnych właściwości obiektu budowlanego od samego początku pracy nad projektem budowlanym – studium wstępnego poprzez etap marketingu, projektowania i uzyskania pozwoleń, podpisania umów najmu, re-

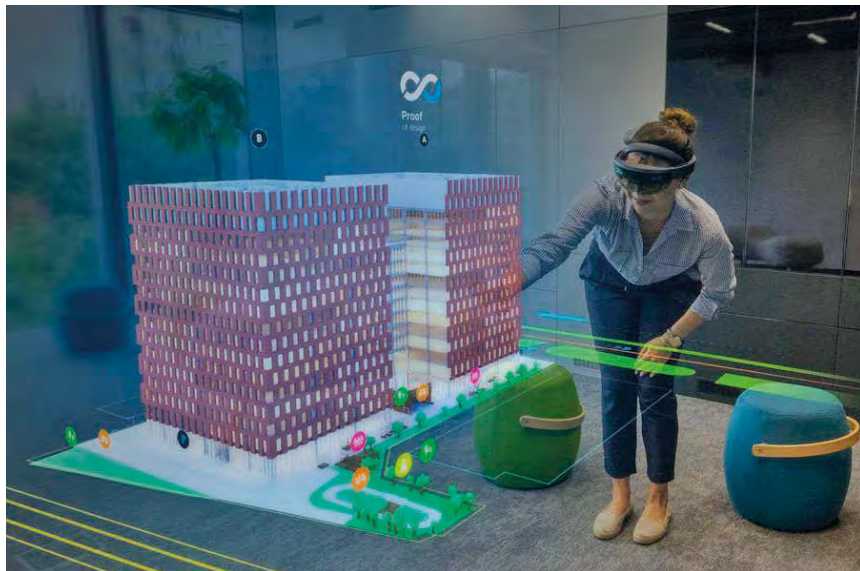
alizacji inwestycji budowlanej [4] aż do etapu zarządzania nieruchomością, dzięki modelowaniu informacji cyfrowych z zastosowaniem BIM [5]. Tego typu innowacje cyfrowe są ściśle powiązane z rozwiązaniami pochodzącymi z branży IT i dlatego w takich przypadkach realizowane są one w oparciu o metodykę zwinnego zarządzania projektami. Zwinne metody zarządzania projektami zostały zapoczątkowane w końcu ubiegłego wieku. Koncepcja ta rozwinęła się w oparciu o rozwiązania i techniki, które zostały zastosowane po raz pierwszy po drugiej wojnie światowej w sektorze motoryzacyjnym w Japonii [6]. W 1986 Hiro-taka Takeuchi oraz Ikujiro Nonaka opisałi holistyczne podejście skupiające się na takich czynnikach, jak: samoorganizujące się zespoły, nakładające się fazy rozwoju, uczenie się na własnych błędach, subtelna kontrola i organizacyjny transfer wiedzy [7]. Budownictwo, będąc uważanym za sektor gospodarki, w którym cyfrowa transformacja dopiero się zaczyna, adaptuje zwinne standardy zarządzania projektami. Jak wskazują badania, firmy budowlane, które z powodzeniem zastosowały metody zwinne, skróciły czas realizacji inwestycji budowlanej nawet o 30% i zmniejszyły jej koszty o 15% [8].

## Metodyka Scrum

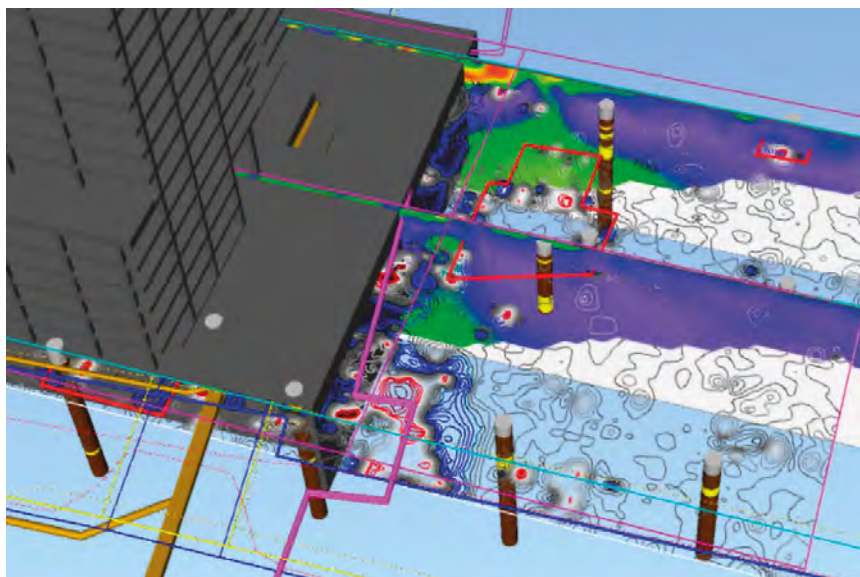
Wprowadzenie nowych metod zarządzania projektami przyspiesza czas wejścia na rynek nowej technologii czy produktu, optymalizując tym stosunek wygenerowanej wartości do poniesionych kosztów. Radykalna przejrzystość jest niezbędna do optymalnego funkcjonowania metod zwinnych, takich jak *Scrum* czy *Lean*. Metodyka *Scrum* to ramy postępowania adaptacyjnie rozwiązujące złożone problemy tak, aby w efektywny sposób wytwarzać produkty o najwyższej możliwej wartości [9]. W ramach *Scrum* wyróżniamy: zespoły scrumowe oraz związane z nimi role, wydarzenia i artefakty [10]. Każdy z elementów służy konkretnym celom i jest niezbędny do osiągnięcia sukcesu w stosowaniu tej metody. *Scrum* jest iteracyjnym podejściem do wytwarzania produktów w odróżnieniu od metod kaskadowych. Pozwala to na zwiększenie przewidywalności i lepszej kontroli ryzyka [11]. Dodatkowo umożliwia zwiększenie transparentności w ramach realizacji projektu. Jej podstawą jest *sprint*, czyli przedział czasowy, podczas którego tworzony jest przyrost produktu, użyteczny z punktu widzenia użytkownika końcowego i przynoszący wartość biznesową. *Sprinty* mają stały czas trwania. Nowy *sprint* rozpoczyna się natychmiast po zakończeniu poprzedniego. *Sprint* można uznać za projekt o horyzoncie czasowym nie dłuższym niż jeden miesiąc. *Scrum* przewiduje cztery formalne punkty przeprowadzania inspekcji i okazję do dokonania adaptacji: Planowanie *Sprintu* (ang. *Sprint Planning*), Codzienny *Scrum* (ang. *Daily Scrum*), Przegląd *Sprintu* (ang. *Sprint Review*) oraz Retrospektywa *Sprintu* (ang. *Sprint Retrospective*). Istnieją trzy kluczowe role zdefiniowane w metodzie *Scrum*: samoorganizujący się zespół, *Scrum Master* [12] oraz właściciel produktu (ang. *Product Owner*) [13]. Wszystkie istotne aspekty procesu muszą być widoczne dla osób odpowiedzialnych za osiągane rezultaty. Artefakty zdefiniowane przez *Scrum* są specjalnie zaprojektowane w celu zmaksymalizowania przejrzystości kluczowych informacji, tak aby wszyscy mieli takie samo zrozumienie artefaktu. Wyróżnia się trzy główne artefakty: Rejestr Produktu (ang. *Product Backlog*), Rejestr *Sprintu* (ang. *Sprint Backlog*) oraz Przyrost (ang. *Increment*). Rejestr Produktu to uporządkowana lista wymagań zarówno funkcjonalnych, jak i niefunkcjonalnych, które pozwolą na realizację projektu. Jest to jedyne źródło wymagań dotyczących wszelkich zmian w produkcie. Właściciel produktu jest odpowiedzialny za Rejestr Produktu, w tym jego zawartość, dostępność i zamawianie. Rejestr *Sprintu* jest prognozą zespołu *Scrumowego* na temat tego, jaka funkcjonalność będzie dostępna na koniec *Sprintu*. Przyrost jest sumą wszyst-



Rys. 1. Wizualizacja zakresu prac planowanego do realizacji na budowie z zastosowaniem rozszerzonej rzeczywistości – projekt European Spallation Source w Szwecji. Materiały Skanska 2017



Rys. 2. Wizualizacja projektu Wave Skanska Property Poland z wykorzystaniem AR, materiały Skanska 2019.



Rys. 3. Wizualizacja elementów infrastruktury podziemnej pod powierzchnią terenu oraz odwiertów geologicznych na potrzeby realizacji budowy budynku biurowego w rozszerzonej rzeczywistości. Materiały Skanska 2017

kich elementów Rejestru Produktu zrealizowanych podczas *Sprintu* oraz wartości przyrostów wszystkich poprzednich *Sprintów*. Metodyka *Scrum* jest podejściem dojrzałym, zaadaptowanym tam, gdzie skupia się uwagę na osiągnięciu wyższej adaptacji na zmiany.

### Studium przypadku

Rozszerzona rzeczywistość (ang. AR – *Augmented Reality*) jest technologią, która daje możliwość pracy w tzw. rzeczywistości mieszanej, czyli z nałożeniem hologramu na rzeczywisty obraz. Efekt ten osiągamy przy pomocy okularów do wizualizacji AR, a także urządzeń mobilnych. W działalności budowlano-deweloperskiej technologię tę stosuje się w:

1. prezentacjach sprzedażowych – jako element marketingowy, wizualizując budynek w skali rzeczywistej czy w mniejszej skali podczas spotkań z potencjalnymi nabywcami przestrzeni biurowej;
2. analizie projektowej – jako element weryfikacji modelu BIM-owego, analizy projektu koncepcyjnego i wykonawczego, identyfikacji kolizji instalacji budynkowych oraz błędów projektowych, analizy potencjalnych ryzyk, układu funkcjonalno-użytkowego, zakresu prac zaplanowanych do realizacji na budowie w danym horyzoncie czasowym w sposób zgodny ze standardami BHP.

W ramach opracowania aplikacji mobilnej do prezentacji sprzedażowych czy analityki projektowej zastosowano metodykę *Scrum* celem realizacji projektów w sposób zwinny, nastawiony na śledzenie zarówno metryk biznesowych, jak i miar opisujących proces wytwórczy, by móc dalej rozwijać ten projekt w czasie zgodnie z oczekiwaniami końcowego odbiorcy. Metryki biznesowe koncentrowały się na tym, czy rozwiązanie spełnia potrzeby biznesowe, a wskaźniki zwinne mierzyły aspekty rozwoju procesu. Przytoczone metryki skupiały się na dostarczaniu aplikacji umożliwiającej prezentację budynków biurowych na 3 etapach: analizy warunków gruntowo-wodnych pod powierzchnią terenu, projektowania instalacji w budynku, przygotowania do realizacji określonego zakresu prac na budowie (rys. 1–3.)

Zespół, który opracowywał tę aplikację, był multikompetencyjny. Składał się z inżynierów budownictwa, geologów inżynierskich, geofizyków, ekspertów BIM oraz informatyków i *scrum mastera*. Wyzwaniem było opracowanie takiego schematu prac, by w zakładanym budżecie stworzyć aplikację, która do tej pory nie była dostępna komercyjnie. Każda ze zwinnych metryk pomogła zespołowi lepiej zrozumieć proces tworzenia wizualizacji AR i konwersji modeli BIM, ułatwiając udostępnianie oprogramowania do

testów produkcyjnych, zanim zakończono prace nad finalnym produktem. Monitoring kluczowych wskaźników zaawansowania realizacji projektu nie ograniczył się jedynie do dokumentacji przekroczeń zaplanowanego budżetu oraz spisu opóźnień w pracach projektowych – jak w przypadkach tradycyjnych metod zarządzania projektami w formule kaskadowej. Sprawdzanie stanu projektu oraz monitorowanie wskaźników efektywności projektu odbywało się w czasie rzeczywistym, dzięki czemu możliwe było podejmowanie decyzji w oparciu o bieżące fakty. W trakcie prac zastosowano OKR (ang. *objectives and key results*) oraz wskaźniki przepływu. OKR to technika wyznaczania celów i kluczowych rezultatów. Obserwacja wskaźników przepływu pozwala zespołom na zrozumienie ich możliwości wytwórczych. Pomogła zidentyfikować problemy i skupić się na ponownym uruchomieniu pracy. Dzięki niej dynamicznie obserwowano miejsca występowania tzw. wąskich gardeł, które spowalniały postęp projektu. Wskaźnikami były pomiary długości wykonania pracy po rozpoczęciu danego etapu projektu, średniego czasu cyklu dla każdego rodzaju wykonywanej pracy, identyfikacji miejsc, gdzie zatrzymana została praca nad projektem oraz długości oczekiwania między aktywnymi krokami. Rezultatem jest aplikacja umożliwiająca wizualizację z wykorzystaniem technologii AR i modeli BIM: projektu w skali rzeczywistej osadzonego w koordynatach geograficznych oraz wizualizacji danych pochodzących z badań geofizycznych wykonywanych metodami: georadarową, elektrooporową, sejsmiczną.

### Wnioski

Stosowanie metodyki *Scrum* w ramach realizacji projektów cyfrowych mających na celu produkcję aplikacji wykorzystujących AR do wizualizacji budynku biurowego czy wyników pomiarów geofizycznych nie jest jeszcze powszechne. Podejście zwinne do wytwarzania oprogramowania pomaga osiągnąć znaczącą i trwałą poprawę wydajności, zmniejsza złożoność i niepewność poprzez redukcję marnotrawstwa i działań niezwiązanych z wartością dodaną w całym cyklu życia projektu. W oparciu o zastosowane metody zwinne zmniejszono opóźnienia w harmonogramie prac o 32%, lepiej zarządzano oczekiwaniami odbiorcy finalnego (wynik ankiety satysfakcji klienta to 95%) oraz zoptymalizowano zaangażowane w projekt zasoby (o 2 osoby: 1 ekspert i 1 programista). W ten sposób etapy w projekcie były bardziej stabilne, przewidywalne i wydajne. ■

### Bibliografia:

1. Xu M., David J., Kim S., The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges, *International Journal of Financial Research*, 2018.
2. Rüssmann M. and co-authors: *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries* 2015. Aprilis 9.
3. Gracel J., Czy jesteście gotowi na czwartą rewolucję przemysłową?, *Harvard Business Review Polska*, 2019, <https://www.hbrp.pl/b/czy-jestes-gotowy-na-czwarta-rewolucje-przemyslowa/J7FUmvGi>.
4. Foremny A., Wykorzystanie BIM w fazie wykonawczej przedsięwzięć budowlanych, *Materiały Budowlane*, 496 (12), 2013. Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o.
5. Glema A. AdamA., *Buildingsmart Poland – Aktualności*, buildingsmart.pl [dostęp 2017-10-27].
6. Womack J., Jones D., Roos D., *Maszyna, która zmieniła świat*, Massachusetts Institute of Technology (MIT), 1990.
7. Takeuchi H., Nonaka I., *The new new product development game*, *Harvard Business Review*, 1986.
8. [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Shaping\\_the\\_Future\\_of\\_Construction\\_full\\_report\\_.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Shaping_the_Future_of_Construction_full_report_.pdf).
9. [www.scrumguides.org](http://www.scrumguides.org).
10. Sutherland J., *Scrum: The Art of Doing Twice the Work in Half the Time*, 2014.
11. Almeida F., Challenges in Migration from Waterfall to Agile Environments, *World Journal of Computer Application and Technology* 5(3): 39-49, 2017.
12. Noll J., Razzak M., Bass J., Beecham S., *A Study of the Scrum Master's Role, In Product-Focused Software Process Improvement*, PROFES, 2017.
13. Schwaber K., Beedle M., *Agile software development with Scrum. Volume 1*, Prentice Hall Upper Saddle River, 2002.

### Streszczenie: Transformacja cyfrowa w budownictwie

Czwarta rewolucja przemysłowa niesie ze sobą kompleksową transformację cyfrową przedsiębiorstw. Jej dziewięć filarów ma wpływ również na branżę budowlaną. W artykule przedstawiono wpływ, jaki transformacja cyfrowa wywiera na projekty innowacyjne realizowane w branży budowlanej, omówiono przykłady innowacji cyfrowych, jakie stosowane są w cyklu życia projektu deweloperskiego – biurowego oraz opisano na przykładach i studium przypadku, jakie stosowane są modele zarządzania projektami innowacyjnymi.

**Słowa kluczowe:** innowacje, rewolucja przemysłowa, zarządzanie projektem, rozszerzona rzeczywistość, geofizyka

**Abstract: Digital transformation in construction.** The fourth industrial revolution carries out a comprehensive digital transformation of enterprises. Its nine pillars also affect the construction industry. The article presents the impact of digital transformation on innovative projects implemented in the construction industry, examples of digital innovations that are used in the lifecycle of a property development undertaking, are discussed, and examples and case studies of applied innovation project management models are described.

**Keywords:** innovations, industrial revolution, project management, augmented reality, geophysics



# DIGITIZATION IN CONSTRUCTION



**mgr Anna Tryfon-Bojarska**  
ORCID: 0000-0002-5537-2755  
Skanska Commercial Development Europe,  
Szkoła Główna Handlowa,  
Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii

**mgr inż. Ewelina Wińska**  
ORCID: 0000-0002-3363-2106  
Polsko-Japońska Akademia Technik  
Komputerowych

Implementation of innovations in construction projects that are based on applications and systemic IT solutions requires the use of a proper iterative and incremental methodology of managing such projects, as in the case of software development. A good example is the development of applications based on Augmented Reality for analyzing the data of a construction project.

We are now witnessing numerous changes that are taking place in all branches of industry. The development of companies – which is aimed at increasing productivity, optimizing resources, raising profits and reducing costs – requires the use of innovative technologies. Currently, at the time of the fourth industrial revolution companies are undergoing a digital transformation which consists in connecting devices within digital ecosystems and increasing integration in vertical and horizontal value chains. There are nine pillars of this transformation:

1. **Autonomous machines**
2. **Additive manufacturing, 3D printing, prefabrication**
3. **Augmented reality** – a technology connecting the real world with the one generated by computers.
4. **Scenario simulations** based on advanced data analytics, cognitive systems and machine learning
5. **Horizontal and vertical integration of systems** consisting in project data

integration based on data transfer standards (from the supplier to the client).

6. **Industrial Internet of Things** – a network of physical objects which use built-in technologies for communicating with other devices.
7. **Systems based on cloud computing.**
8. **Cybersecurity** – protection of Internet-connected systems from cyberattacks.
9. **Big Data.**

### **Agile project management**

The Polish commercial and office real estate market is considered to have big innovative potential. In recent years, we have observed its dynamic development. Developers in Poland are actively searching for new solutions which will distinguish their buildings from the competition. That is why Poland is becoming one of the major exporters of such innovations. It is important to mention here solutions which support creating the so-called digital twins. A digital twin of a physical building is a digital record of physical and functional properties of a

facility from the very start of work on a construction project, that is from preliminary study, through marketing, designing, obtaining permits, signing lease agreements, completing construction project, to property management, thanks to digital information modeling with the use of BIM.

Such digital innovations are strictly connected with IT solutions and that is why they are based on the methodology of agile project management. Agile methods of managing projects were introduced at the end of the 20th century. The concept was developed on the basis of solutions and techniques which were used for the first time in the automotive industry in Japan after WWII. In 1986, Hirotaka Takeuchi and Ikujiro Nonaka described a holistic approach which focused on such factors as self-organizing teams, overlapping phases of development, learning from mistakes, minimal supervision and organizational knowledge transfer. The construction industry, regarded as an economic sector in which the digital transformation is just





Fig.1. Visualization of the planned scope of works at the construction site with the use of augmented reality: European Spallation Source project in Sweden. Skanska materials, 2017

beginning, is adopting the agile standards of managing projects. Research shows that construction companies which have successfully applied agile methods have reduced the time needed for completing a construction project by up to 30 percent and cut costs by 15 percent.

### Scrum methodology

Introduction of new methods of managing projects shortens time to market of a new technology or product, thereby optimizing the relation of generated value to the costs incurred. For the optimal functioning of agile methods such as *Scrum* and *Lean*, full transparency is needed. The *Scrum* methodology constitutes a framework that aims to solve complex problems in such a way as to effectively make products of the highest possible value. Within this method, we have *Scrum* teams and the roles, events and artifacts connected with them. Each of these elements serves a specific purpose and is necessary for succeeding in using this method. *Scrum* is an iterative approach to making products as opposed to cascade methods. It facilitates greater predictability and better risk control. Additionally, it makes it possible to increase transparency in project execution. Its basis is sprint, the time interval during which the product increment is created which is useful for the end user and brings business value.

*Sprints* have a fixed duration time. A new sprint begins immediately after the end of the previous one. A *sprint* can be understood to mean a project which lasts no longer than one month. *Scrum* schedules four formal moments for inspection and adaptation: *Sprint Planning*, *Daily Scrum*, *Sprint Review* and *Sprint Retrospective*. There are three

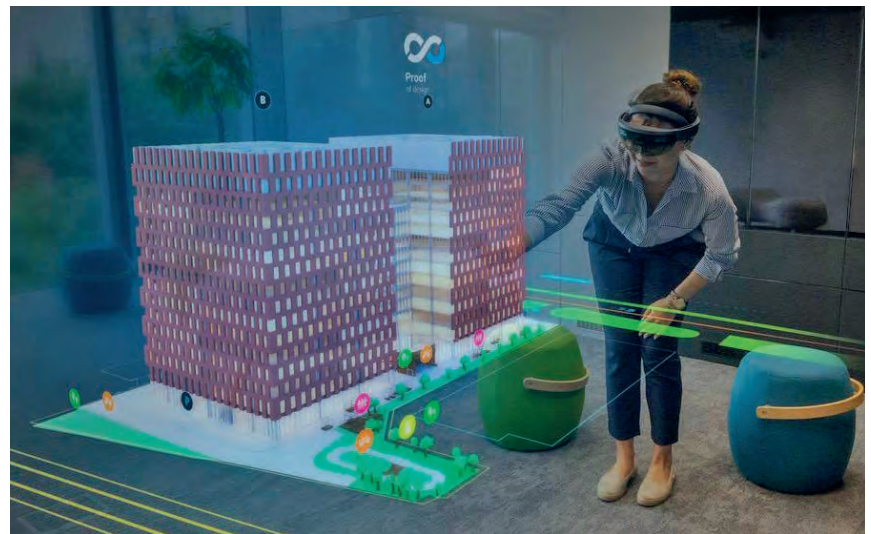


Fig.2. Visualization of Skanska Property Poland's Wave project with the use of augmented reality. Skanska materials, 2019

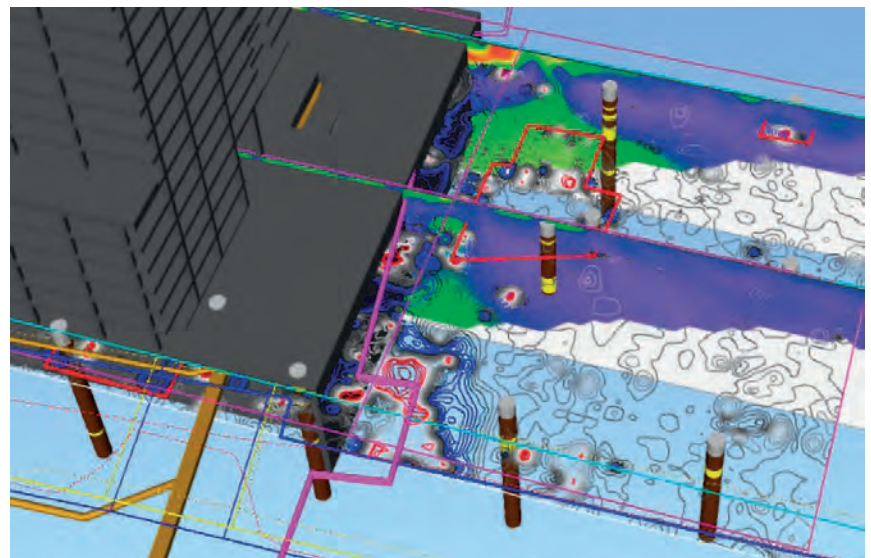


Fig.3. Visualization of underground infrastructure elements and geological boreholes with the use of augmented reality for the purpose of constructing an office building. Skanska materials, 2017

crucial roles which are defined in the *Scrum* method: self-organizing team, *Scrum* Master and Product Owner. All the essential aspects of the process must be visible for the persons who are responsible for the achieved results. Artifacts defined by *Scrum* are specially designed to maximize the transparency of key information so that everybody has the same understanding of the artifact. There are three main artifacts: Product Backlog, Sprint Backlog, and Increment. The Product Backlog is an ordered list of requirements, both functional and non-functional, needed to implement a project. It is the only source of requirements concerning all changes in the product. The Product Owner is responsible for the Product Backlog, including its content, availability and ordering. The *Sprint Backlog* contains the functionalities that *Scrum* team expects to make available at the end of the sprint. The Increment is the sum of all the elements of the Product Backlog which were completed during the sprint and the values of increments of all previous sprints. The *Scrum* methodology is a mature approach which is adopted everywhere where the focus is on better adaptation to changes.

### Case study

Augmented Reality is a technology which gives the possibility to work in the so-called mixed reality, that is with a hologram placed on a real picture. This effect is achieved with the help of AR glasses or mobile devices. In the construction and property development business, this technology is used in the following cases:

1. Sales presentations – as a marketing element which enables visualizing the building on a real scale or on a smaller scale during meetings with potential purchasers of office space.
2. Project analytics – as an element of the BIM model verification, conceptual and executive project analysis, identification of overlapping building systems and project errors, analysis of potential risks, the utility-functional system, the planned scope of works at the construction site in a given time, in a manner conforming to work safety standards.

The *Scrum* methodology was used when developing a mobile application for sales presentations and project analytics. The aim was to carry out projects in an agile way, focused on following the business metrics as well as standards describing the production process, in order to be able to develop the project following the end user's expectations. Business metrics focused on finding out whether the solution met business needs, and agile indicators measured the aspects of process development. The metrics focused on delivering an application presenting

office buildings at the three following stages: analysis of land and water conditions underground; designing systems in the building; preparing a given scope of works at the construction site (Fig. 1-3).

The team that developed this application was a multi-competence team. It comprised civil engineers, geologists, geophysicists, BIM experts, IT specialists and a *scrum* master. Devising a work plan to create an application, which had not been available on the market earlier, within the fixed budget turned out to be a challenge. Each of the agile metrics helped the team better understand the process of creating AR visualizations and BIM model conversions. This made it easier to deliver software for production tests before the work on the final product was finished. The monitoring of the key indicators of project progress was not limited to documenting cases of overspending and listing delays in project works – as in traditional methods of project management in the cascade formula. Checking the status of the project and monitoring the indicators of project efficiency took place in real time. Thanks to that it was possible to take decisions based on current facts. During the works, Objectives and Key Results (OKR) and flow indicators were used. OKR is a technique of setting goals and key results. The observation of the flow indicators helps teams to understand their productive capacity. It helped them to identify problems and focus on resuming work. That facilitated the dynamic observation of the bottlenecks which slowed down the project progress. The following measurements constituted the indicators: the duration of work after the beginning of a given phase of the project; average cycle time for each type of work done; identification of bottlenecks; length of waiting time between active steps. The end result is an application that makes it possible to visualize the following with the use of AR and BIM models: the project on a real scale set in geographical coordinates and the data coming from geophysical research done with the use of ground-penetrating radar, electrical resistivity method and seismic method.

### Conclusions

The use of the *Scrum* method in digital projects aimed at creating applications that make use of AR for visualizing an office building or geophysical survey results is not widespread yet. An agile approach to software development helps achieve a significant and sustainable productivity improvement and lowers the complexity and uncertainty through the reduction of the time wasted and of activities which are not related to the added value in the whole life cycle of the project. Based on agile

methods, delays in the work schedule were reduced by 32 percent, and the end user's expectations were managed better (the result of the customer satisfaction survey was 95 percent). The resources involved in the project were also optimized (by two persons: one expert and one programmer). Thanks to that, the project stages were more stable, predictable and efficient. ■

DOI: 10.5604/01.3001.0013.3668

### Bibliography:

1. Xu M., David J, Kim S., The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges, International Journal of Financial Research, 2018.
2. Rüssmann M and co-authors: Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries 2015. aprilis 9.
3. Gracel J., Czy jesteś gotowy na czwartą rewolucję przemysłową?, Harvard Business Review Polska, 2019, <https://www.hbrp.pl/b/czy-jestes-gotowy-na-czwarta-rewolucje-przemyslowa/J7FUmvGi>.
4. Foremny A., Wykorzystanie BIM w fazie wykonawczej przedsięwzięć budowlanych, Materiały Budowlane, 496 (12), 2013. Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o. A.
5. Glema A. AdamA., Buildingsmart Poland – Aktualności, buildingsmart.pl [dostęp 2017-10-27].
6. Womack J, Jones D, Roos D, "Maszyna, która zmieniła świat", Massachusetts Institute of Technology (MIT), 1990.
7. Takeuchi H., Nonaka I., The new new product development game, Harvard Business Review, 1986.
8. [http://www3.weforum.org/docs/WEFShaping\\_the\\_Future\\_of\\_Construction\\_full\\_report\\_.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEFShaping_the_Future_of_Construction_full_report_.pdf).
9. [www.scrumguides.org](http://www.scrumguides.org).
10. Sutherland J, Scrum: The Art of Doing Twice the Work in Half the Time, 2014.
11. Almeida F, Challenges in Migration from Waterfall to Agile Environments, World Journal of Computer Application and Technology 5(3): 39-49, 2017.
12. Noll J., Razzak M, Bass J., Beecham S., A Study of the Scrum Master's Role, In Product-Focused Software Process Improvement, PROFES, 2017.
13. Schwaber K., Beedle M., Agile software development with Scrum. Volume 1, Prentice Hall Upper Saddle River, 2002.

### Abstract: Digital transformation in construction

The fourth industrial revolution leads to a comprehensive digital transformation of enterprises. Its nine pillars also affect the construction industry. This article presents the impact of digital transformation on innovative projects which are implemented in the construction industry. It describes examples of digital innovations that are used in the life cycle of a property development undertaking, as well as examples and case studies of applied innovative project management models.

**Keywords:** innovations, industrial revolution, project management, augmented reality, geophysics

BUILDER  
FOR THE  
FUTURE

BUILDER  
FOR THE  
YOUNG  
ENGINEERS

W ramach realizowanego przez miesięcznik „Builder” programu „Wspieramy młodych inżynierów budownictwa” dajemy możliwość pierwszych publikacji naukowych młodym doktorantom.



**Tomasz Howiacki**  
ORCID – 0000-0002-6833-7203  
Wydział Inżynierii Lądowej,  
Politechnika Krakowska



**Opiekun naukowy:  
dr inż. Rafał Sieńko**  
Wydział Inżynierii Lądowej,  
Politechnika Krakowska

Pozyskiwanie informacji na temat pracy konstrukcji w rzeczywistych warunkach eksploatacji ma umożliwić przede wszystkim odpowiednie zarządzanie ryzykiem awarii, które można wyrazić w jednostkach pieniężnych. W przypadku istniejących, często zaawansowanych technicznie i skomplikowanych geometrycznie obiektów dodatkowa informacja pomiarowa pozwala na zminimalizowanie ryzyka oraz niepewności związanych z przyjętym na etapie obliczeń modelem. W przypadku wdrażania nowych technologii, związanych np. z zastosowaniem nowoczesnych materiałów (kompozyty, betony lekkie, fibrogruntobetonu i inne), opomiarowanie pilotażowych konstrukcji ma na celu zoptymalizowanie ich parametrów przy zachowanym poziomie ryzyka.

W praktyce inżynierskiej do pomiarów wybranych wielkości fizycznych stosowane są powszechnie czujniki punktowe działające w oparciu o różne zjawiska fizyczne, np. czujniki strunowe, elektrooporowe, indukcyjne, piezoelektryczne i wiele innych. Im lepsza jakość uzyskiwanej informacji, tym dokładniejsze oraz bardziej wiarygodne wnioski. Stąd poszukuje się coraz to nowszych technologii, umożliwiających pełniejszą ocenę pracy konstrukcji, a jednocześnie ekonomicznych. W tych aspektach zdecydowanie wyróżniają się czujniki światłowodowe [1], realizujące pomiary w sposób geometrycznie ciągle na całej długości pomiarowej (ang. *distributed fiber optic sensors* – DFOS). Jest to możliwe dzięki wykorzystaniu różnych zjawisk optycznych, np. rozpraszania Rayleigha [2]. Dzięki temu istnieje możliwość zastąpienia jednym włóknem światłowodowym tysięcy tradycyj-

# ŚWIATŁOWODY

## przełom w pomiarach

Technika światłowodowych pomiarów realizowanych w sposób geometrycznie ciągle (ang. *distributed fiber optic sensors* – DFOS) wprowadza zupełnie nowe możliwości w analizie stanu technicznego konstrukcji inżynierskich w porównaniu do tradycyjnych technik punktowych.

nych, punktowych tensometrów. Podejście takie daje niespotykane dotąd możliwości analizy pracy konstrukcji z uwzględnieniem wszystkich lokalnych zjawisk, takich jak: zarysowanie w elementach żelbetowych i sprężonych [3], ocena ciągłości struktury betonu [4] czy też lokalne wzmocnienia spowodowane obecnością żeber w konstrukcjach stalowych [5] lub kompozytowych [6].

Z tego względu prace nad rozwojem światłowodowej techniki pomiarowej trwają obecnie w wielu jednostkach naukowych i prywatnych na świecie, ale także w Polsce, m.in. w Instytucie Materiałów i Konstrukcji Budowlanych (IMI KB) Politechniki Krakowskiej [7]. Opisanie w niniejszym artykule badania laboratoryjne i terenowe zostały przeprowadzone przy współpracy z firmą SHM System [8], która z powodzeniem zrealizowała projekt badawczy pt. *Opracowanie nowego czujnika światłowodowego umożliwiającego wyznaczenie profili pionowych i poziomych przemieszczeń badanych obiektów na odcinkach o długości do 120 km*. Projekt ten wykonano w ramach konkursu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju z Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014–2020, nr proj. POIR.01.01.01-00-0550/15. W wyniku przeprowadzonych badań i pionierskich wdrożeń opracowano unikatowe w skali świata, oparte wyłącznie na polskiej myśli technicznej czujniki światłowodowe do pomiarów odkształceń (np. EpsilonRebar) i przemieszczeń (np. 3DSensor).

### Pomiary odkształceń

Pomiary odkształceń można realizować poprzez przyklejenie światłowodu na po-

wierzchni istniejącego elementu wykonanego z dowolnego materiału lub poprzez zatopienie dedykowanego czujnika (np. EpsilonRebar) wewnątrz badanego ośrodka, np. betonu. Rozpoczęcie pomiarów tuż po wykonaniu elementu pozwala na prowadzenie analizy zmian odkształceń termiczno-skurczowych mieszanki betonowej. Przykładowy wykres w dziedzinie długości próbki i czasu przedstawiono na rys. 1a. Ze względu na niejednorodność mieszanki betonowej rozkłady odkształceń w kolejnych pomiarach nie są linią prostą (taką informację uzyskujemy z tradycyjnych czujników punktowych uśredniających wartości odkształceń na całej bazie pomiarowej). Podobne badania prowadzono w Instytucie Materiałów i Konstrukcji Budowlanych PK na wybranych materiałach, np. betony zwykłe, samozagęszczalne, betony na kruszywie lekkim, fibrogruntobetonu.

Innym przykładem mogą być pomiary elementów sprężonych w czasie naciągu kabli sprężających (kablobeton) lub w czasie ich zwalniania (strunobeton). Pozwala to na określenie wartości siły sprężającej, jaka została przekazana na beton w dowolnie wybranym przekroju elementu (pomiary realizowane na całej długości). Przykładowe przyrosty odkształceń (w środku przęsła strunobetonowej płyty) w czasie zwalniania kolejnych cięgien w zakładzie prefabrykacji przedstawia rys. 1b.

Światłowody mogą być także skutecznym narzędziem do oceny jednorodności betonu. Rozkłady odkształceń, zmierzone w czasie zginania strunobetonowej płyty przez czujnik zatopiony w jej wnętrzu po stronie

ściskanej (rys. 2a), przedstawiono na rys. 2b. Pomiary realizowano na całej długości płyty, a lokalne ekstrema odkształceń odpowiadały miejscom najłabszym, które w końcowych fazach obciążania (schemat czteropunktowego zginania belki wolnopodpartej) doprowadziły do zniszczenia badane-

go elementu poprzez wykruszenie się strefy ściskanej.

Światłowodowe pomiary odkształceń zrealizowano także na pierwszym w Polsce obiekcie mostowym wykonanym w całości z materiałów kompozytowych [6]. Dźwigary, ale także płyty pomostu, zostały opomiarowane

kilkudziesięcioma włóknami światłowodowymi (ze względu na bardzo mały koszt nie ma potrzeby ograniczania liczby stosowanych włókien). Dzięki temu uzyskano łączną liczbę punktów pomiarowych na konstrukcji równą 10 000! Pomiary prowadzono zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i na rzeczywistym obiekcie w czasie jego obciążenia próbnego (rys. 3a). Przykładowe wyniki przedstawia rys. 3b.

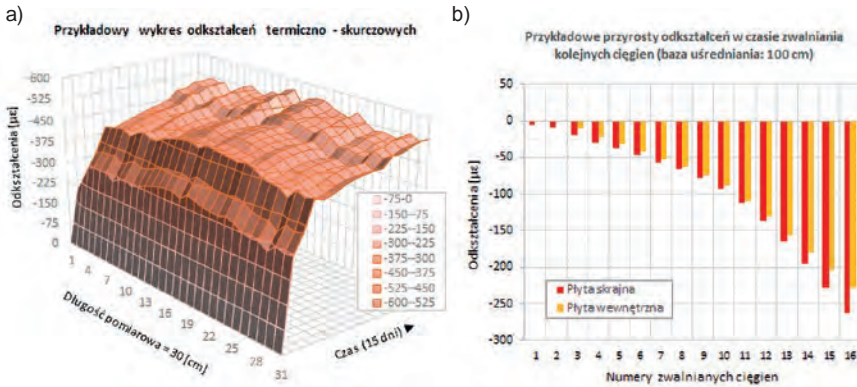
Analizując przykładowy rozkład odkształceń na dolnym pasie wybranego dźwigara w czasie drugiego etapu badania (obciążenie dwoma samochodami ciężarowymi), można zauważyć lokalne zakłócenia spowodowane obecnością żeber w dźwigarze. Należy także podkreślić, że wyniki pomiarów światłowodowych wykazały bardzo dobrą zgodność z referencyjną strunową techniką pomiarową.

Pilotażowe w Polsce realizacje na rzeczywistych obiektach obejmują także:

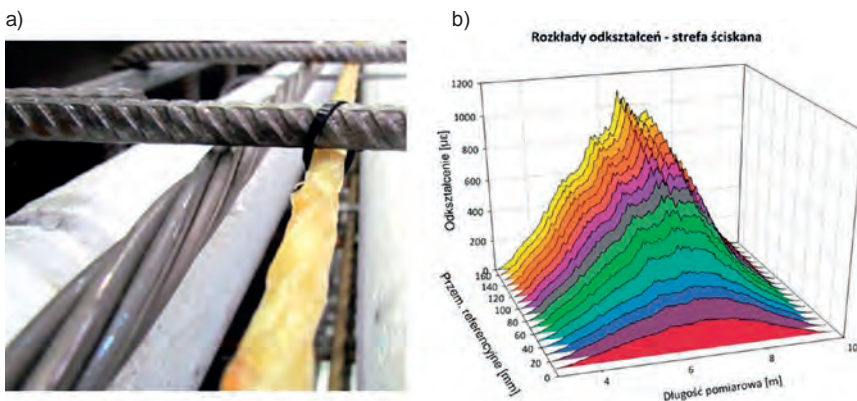
- kolumnę betonową CFA [4] (możliwość analizy dystrybucji siły przekazywanej na pobocznice i podstawę w czasie obciążenia próbnego oraz budowy),
- bary fundamentowe pod trzema warszawskimi nowo budowanymi wieżowcami,
- warstwy nawierzchni drogowych (podbudowa z pianobetonu, warstwy asfaltowe),
- ściany szczelinowe z fibrogruntobetonu,
- stalowy most im. Tadeusza Mazowieckiego w Rzeszowie [5],
- kompozytowo-betonową kładkę dla pieszych w Nowym Sączu.

### Analiza zarysowania

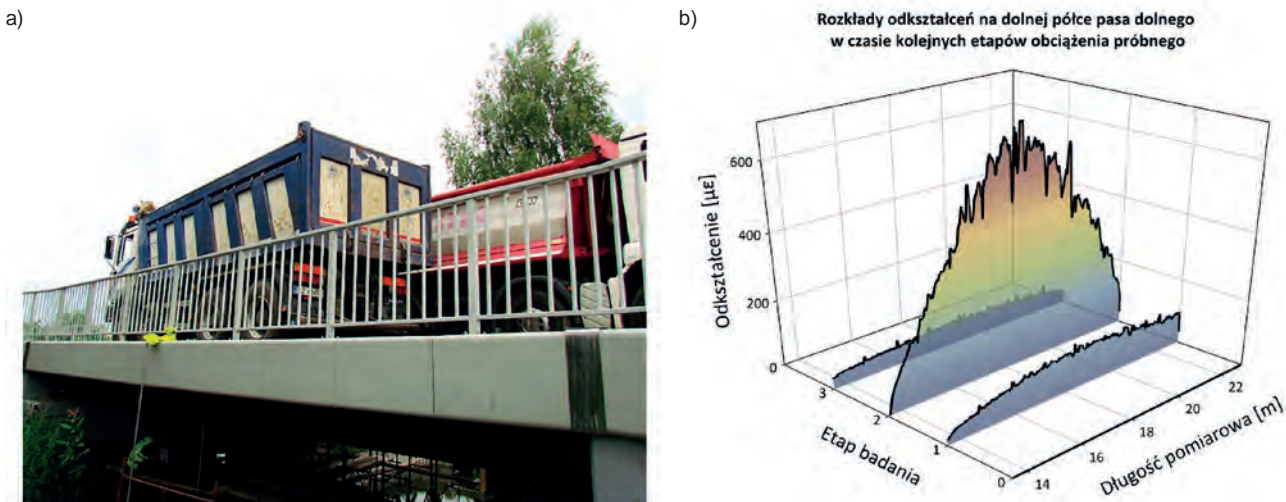
Ponieważ włókna światłowodowe umożliwiają pomiar odkształceń na bardzo krótkich bazach rozłożonych wzdłuż całej linii pomiarowej, istnieje możliwość lokalizacji powstałych rys oraz oszacowania ich sze-



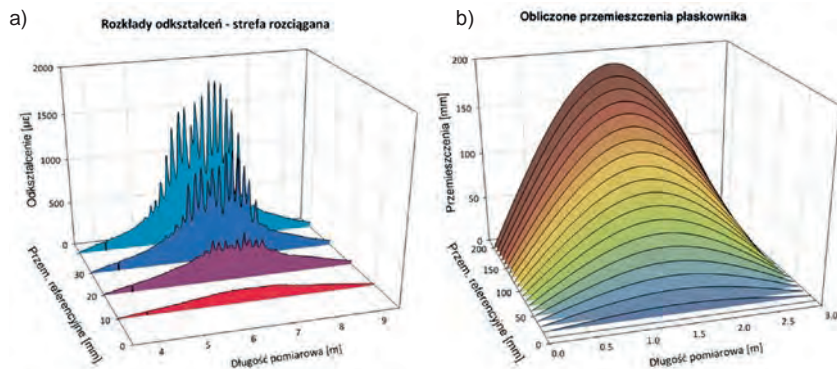
Rys. 1. a) Przykładowy wykres odkształceń termiczno-skurczowych wzdłuż długości próbki w czasie; b) przykładowy wykres przyrostów odkształceń w czasie zwalniania cięgien sprężających



Rys. 2. a) Widok światłowodowego czujnika EpsilonRebar wzdłuż cięgna sprężającego w czasie instalacji, b) przykładowe wykresy odkształceń po stronie ściskanej w czasie zginania płyty



Rys. 3. a) Widok mostu w czasie obciążenia próbnego; b) przykładowy wykres odkształceń rozciąganego pasa dolnego dźwigara kompozytowego na kolejnych etapach obciążenia próbnego



Rys. 4. a) Rozkłady odkształceń po stronie rozciąganej w czasie obciążania płyty, b) wyznaczone na podstawie zmierzonych odkształceń przemieszczenia płaskownika w czasie badań laboratoryjnych [dzięki uprzejmości SHMSystem]

rokości poprzez całkowanie wykresu odkształceń na określonych odcinkach pomiędzy rysami. Bardzo ważne w całym procesie jest zapewnienie odpowiedniej przyczepności pomiędzy szklanym rdzeniem pomiarowym a badanym ośrodkiem betonowym. Pilotażowe badania przeprowadzono w IMiKB PK [7], gdzie pomiary odkształceń wewnątrz mimośrodowo rozciąganego pręta żelbetowego realizowano za pomocą standardowych włókien światłowodowych w osłonie ściskanej. Wykazano bardzo dobrą zgodność wyników pomiarów szerokości rys z lupą Brinella, szczególnie dla rys wąskich (do 0,05 [mm]).

Kontynuując rozważania na temat strunobetonowych płyt wagowych zginanych na maszynie wytrzymałościowej, warto przedstawić wykresy odkształceń (rys. 4a) po stronie rozciąganej, odpowiadające wykresom na rys. 2b (strona ściskana). Analiza wyników pozwala stwierdzić, że płyta pracowała w stanie niezarysowanym tylko w pierwszym kroku obciążenia (wymuszenie kinematyczne w środku rozpiętości równe 10 [mm]). Już w kolejnym kroku zaobserwowano powstanie pierwszych rys, co skutkowało przejściem z gładkiego wykresu dystrybucji odkształceń powodujących rozciąganie na wykres z lokalnymi ekstremami w strefie przęsłowej, odpowiadającymi miejscom powstania i rozwoju zarysowań.

### Obliczanie przemieszczeń

Na podstawie pomierzonych rozkładów odkształceń [ $\mu\epsilon = 10^{-6} = 10^{-3} \text{ mm/m}$ ] istnieje możliwość obliczenia przemieszczeń [mm] z wykorzystaniem związków konstytutywnych i/lub geometrycznych. Analiza może odbywać się w obrębie samego czujnika, zatopianego w badanym ośrodku (np. 3DSensor) lub poprzez instalację włókien w strefach ściskanych i rozciąganych danej konstrukcji, np. ściany szczelinowej, dźwigara.

Na rys. 4b przedstawiono wyniki pomiarów laboratoryjnych w czasie zginania płaskownika w schemacie belki wolnopodpar-

tej, gdzie na podstawie pomierzonych odkształceń na powierzchni ściskanej i rozciąganej wyznaczono profil jego przemieszczeń. Uzyskano bardzo dobrą zgodność z techniką referencyjną (błąd względny na poziomie 0,5 [%]). Opracowany przy współudziale autora algorytm uwzględnia takie parametry, jak m.in.: baza pojedynczego wirtualnego czujnika, rozstaw czujników, odległość włókien po stronie ściskanej i rozciąganej, współrzędne oraz kąt obrotu punktu początkowego lub opcjonalnie inne warunki brzegowe. Algorytm może być stosowany (w przeciwieństwie do równania ugięć) także w zakresie dużych przemieszczeń.

### Podsumowanie

Przedstawione praktyczne przykłady wykorzystania pomiarów realizowanych w sposób geometrycznie ciągly wskazują na bardzo duże możliwości światłowodowej techniki pomiarowej w analizie pracy konstrukcji inżynierskich, a w szczególności w analizie stanu ich odkształceń, zarysowań i przemieszczeń. Istnieje także możliwość pomiarów temperatury.

Pilotażowe badania laboratoryjne oraz pierwsze w Polsce zastosowania na rzeczywistych obiektach świadczą o skuteczności światłowodowej techniki pomiarowej, która ma szansę stać się przełomową w dziedzinie monitorowania stanu technicznego konstrukcji (ang. *structural health monitoring*). ■

DOI: 10.5604/01.3001.0013.3405

Artykuł naukowy opublikowany w ramach projektu „Wsparcie dla czasopism naukowych” dofinansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (202/WNC2019/1).

### Bibliografia

- [1] Gliścić B., Inaudi D., Fibre Optic Methods for Structural Health Monitoring, Wiley, 2007.
- [2] Li W., Bao X., High spatial resolution distributed fiber optic technique for strain and temperature measurements in concrete structures, International Workshop on Smart Materials & Structures, SHM and NDT for the Energy Industry, Calgary, Alberta, Canada, October 7–10 2013.

- [3] Sienko R., Bednarski Ł., Howiacki T., About Distributed Internal And Surface Strain Measurements Within Prestressed Concrete Truck Scale Platforms, 3rd World Multidisciplinary Civil Engineering – Architecture – Urban Planning Symposium WMCAUS, Prague, Czech Republic, 18–22 June 2018.
- [4] Sienko R., Bednarski Ł., Kanty P., Howiacki T., Application of Distributed Optical Fibre Sensor For Strain and Temperature Monitoring within Continuous Flight Auger Columns, 4th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium WMES, Prague, Czech Republic, 03–07 September 2018.
- [5] Sienko R., Bednarski Ł., Howiacki T., Koryciński J., Pomiar deformacji mostu podwieszonoego z wykorzystaniem światłowodowych czujników geometrycznie ciągłych DFOS, Seminarium Wrocławskie Dni Mostowe WDM2018, Wrocław 2018.
- [6] Siwowski T., Sienko R., Bednarski Ł., Rajchel M., Howiacki T., Światłowodowe pomiary odkształceń elementów mostów kompozytowych na przykładzie wybranych badań, Seminarium Wrocławskie Dni Mostowe WDM2017, Wrocław 2017.
- [7] Sienko R., Zych M., Bednarski Ł., Howiacki T., Strain and crack analysis within concrete members using distributed fibre optic sensors, Structural Health Monitoring, October 8, 2018, DOI: 10.1177/1475921718804466.
- [8] www.shmsystem.pl.

**Streszczenie:** Technika światłowodowych pomiarów realizowanych w sposób geometrycznie ciągly (ang. distributed fiber optic sensors – DFOS) wprowadza zupełnie nowe możliwości w analizie stanu technicznego konstrukcji inżynierskich w porównaniu do tradycyjnych technik punktowych. Wykorzystanie wirtualnych czujników odkształceń i/lub temperatury, o bazie pomiarowej sięgającej nawet 5 [mm], rozłożonych szeregowo wzdłuż całej trasy pomiarowej o długości do kilkudziesięciu metrów, pozwala na szczegółową analizę deformacji badanego obiektu. Uwzględniane są wszystkie lokalne zjawiska, takie jak np. zarysowania w konstrukcjach żelbetowych lub wzmocnienia spowodowane obecnością żeber w konstrukcjach stalowych czy kompozytowych. Ponadto, dzięki odpowiednim sposobom montażu oraz wykorzystaniu algorytmów obliczeniowych, istnieje możliwość wyznaczenia profilu przemieszczeń.

**Słowa kluczowe:** zarysowanie, odkształcenia, przemieszczenia, pomiary, światłowody

**Abstract: OPTICAL FIBERS.**

**A BREAKTHROUGH IN MEASUREMENTS.** The application of virtual strain [ $\mu\epsilon$ ] and/or temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ] sensors, with a base starting from 5 [mm], distributed along the entire measuring line up to several dozen meters long, allows for a detailed deformation analysis of the member under test. All local phenomena such as cracks in reinforced concrete structures or strengthenings caused by the presence of ribs in steel or composite structures. Moreover, thanks to the appropriate mounting methods and the application of computational algorithms, it is possible to determine the displacement profile [mm] of the considered medium (concrete or ground). The article presents examples of laboratory tests in this field, as well as the pilot applications in Poland within real structures.

**Keywords:** cracks, strains, displacements, measurements, optical fibers

# SYSTEMY WENTYLACJI I KLIMATYZACJI

## HVAC w obiektach handlowych



**dr hab. inż. Jan Kaczmarczyk**

**ORCID: 0000-0002-8957-8487**

**mgr inż. Izabela Glück**

**ORCID: 0000-0002-3065-5468**

**mgr inż. Karolina Żydek**

**ORCID: 0000-0002-2160-4431**

**Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Techniki  
Odpylania, Politechnika Śląska**

W artykule przedstawiono najczęściej stosowane rozwiązania instalacji HVAC umożliwiające utrzymanie komfortu cieplnego i dobrej jakości powietrza w obiektach handlowych. Zaprezentowano także rozwiązania wentylacji pożarowej niezbędne w wielokubaturowych obiektach użyteczności publicznej.

Obiekty handlowe stanowią dość zróżnicowaną grupę budynków sektora użyteczności publicznej. Różnią się one zarówno pod względem powierzchni, architektury, jak i coraz częściej zakresu oferowanych usług. W ostatnich latach obserwowano wzrost liczby nowoczesnych budynków handlowych. Rocznie powstawało ok 5% nowej powierzchni. Równocześnie istniejące centra handlowe poddawane były modernizacji [1]. Ze względu na rosnące oczekiwania klientów, dla których coraz ważniejsze są usługi dodatkowe, takie jak rozrywka i rekreacja, oprócz części handlowej w obiektach tych znalazły się m.in. restauracje, kina czy kluby fitness. Utrzymanie odpowiednich warunków zapewniających komfort cieplny i dobrą jakość powietrza jest możliwe dzięki właściwemu wyborowi i eksploatacji systemów HVAC (ang. *Heating, Ventilation, Air Conditioning*).

### Wymagania projektowe

Aby zapewnić odpowiednie warunki osobom przebywającym w centrach handlowych, obiekty te muszą być wyposażone w wentylację mechaniczną oraz w instalacje ogrzewania i chłodzenia. Wentylacja mechaniczna dostarcza świeże powietrze i usuwa zużyte, zapewniając higieniczne warunki. Ze względu na bezpieczeństwo osób budynki te

muszą także posiadać odrębną wentylację pożarową, która w razie wystąpienia pożaru usuwa dym i doprowadza powietrze kompensacyjne, umożliwiając ewakuację osób.

Projektowanie instalacji HVAC zapewniających komfort w obiektach handlowych opiera się na takich samych zasadach jak w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi.



Fot. arch. Jan Kaczmarczyk

Rys. 1. Widok typowej galerii handlowej. Na parterze znajduje się ciąg sklepów oraz dodatkowe stoiska w pasażu, na częściowo otwartym piętrze mieści się przestrzeń restauracyjna

Parametry powietrza wewnętrznego wyznacza się zgodnie z praktyką inżynierską na podstawie dedykowanych norm i rozporządzenia [2]. Urządzenia dobiera się w oparciu o bilans ciepło-wilgotnościowy budynku. Ze względu na duże zróżnicowanie liczby osób w pomieszczeniach przyjmuje się, że minimalny strumień powietrza wentylacyjnego powinien wynosić od  $6 \div 9 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ . Natomiast w halach sprzedaży oraz w dużych sklepach samoobsługowych powinien mieścić się w przedziale  $10 \div 12 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$  [3]. Często w celu dostosowania ilości strumienia do liczby osób przebywających w danej strefie stosuje się systemy wentylacji VAV (z ang. *Variable Air Volume*). W tym przypadku strumień powietrza wentylacyjnego jest regulowany na podstawie zmierzonego stężenia  $\text{CO}_2$  lub temperatury wewnętrznej. Takie rozwiązanie pozwala ograniczyć ilość zużywaną energii i zredukować koszty eksploatacyjne w okresach z mniejszą liczbą odwiedzających.

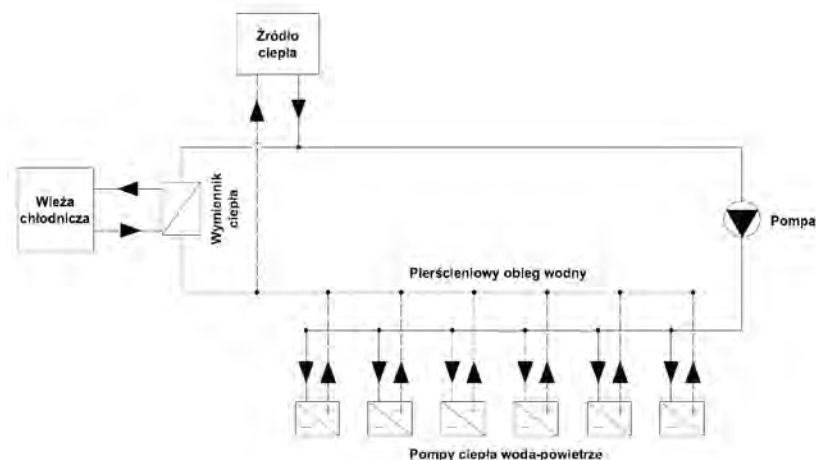
Projektant w porozumieniu z najemcą decyduje, w jaki sposób instalacje mają być poprowadzone i jakie urządzenia mają być wykorzystane, np. klimakonwektory czy multisplity.

W centrach handlowych znajdują się pomieszczenia o różnych zyskach i stratach ciepła, np. w hipermarketach czy w restauracjach jest większe zapotrzebowanie na chłód niż w sklepach z odzieżą. Dodatkowo wiele sklepów ma określone własne, wewnętrzne standardy dotyczące projektowania instalacji. Ich wymagania, np. zapotrzebowanie ciepła i chłodu, często są większe niż te wynikające z obliczeń. Z tego względu instalację dzieli się na część wspólną, czyli pasaż, i na odrębne lokale użytkowane przez najemców. Na rys. 1. pokazano przykładowe rozwiązanie z otwartym pasażem, wydzielonymi lokalami handlowymi na parterze oraz strefą restauracyjną na piętrze.

Instalacje dla poszczególnych lokali są realizowane według odrębnego projektu. W tym celu do każdego lokalu doprowadza się króćce przyłączeniowe instalacji: wentylacji, klimatyzacji i ogrzewania. Projektant w porozumieniu z najemcą decyduje, w jaki sposób instalacje mają być poprowadzone i jakie urządzenia mają być wykorzystane, np. klimakonwektory czy multisplity.

### Rozwiązania HVAC

W galeriach handlowych spotykane są różne systemy oraz urządzenia HVAC. W artykule opisano najczęściej stosowane rozwiązania, do których należą:



Rys. 2. Schemat systemu WLHP [4]

- systemy WLHP,
- systemy scentralizowane jednokanałowe,
- układy dwustopniowe,
- kurtyny powietrzne,
- aparaty grzewczo-chłodzące.

### Systemy WLHP

W centrach handlowych, ze względu na jednocześnie występujące zyski i straty ciepła różnych lokali, zastosowanie znalazły systemy WLHP (ang. *Water Loop Heat Pump*). Są to systemy wykorzystujące rewersyjne pompy ciepła połączone pierścieniem wodnym. To rozwiązanie pozwala na efektywne wykorzystanie nadmiaru ciepła w pomieszczeniach wymagających chłodzenia do ogrzania pomieszczeń, w którym występują straty ciepła [4]. Systemy WLHP należą do systemów zdecentralizowanych, ponieważ wytwarzanie mocy chłodniczej lub cieplnej odbywa się w miejscu instalacji, a nie centralnie [5]. Standardowe systemy składają się z indywidualnych pomp ciepła typu powietrze-woda, pierścienia wodnego z pompami obiegowymi i zasobnikiem ciepła, instalacji grzewczej oraz produkcji chłodu. Elementy systemu schematycznie przedstawiono na rys. 2. Pompy ciepła, które są końcowymi elementami instalacji, zastępują indywidualne klimakonwektory wentylatorowe. Umożliwiają one ogrzewanie lub chłodzenie każdego z lokali według aktualnego zapotrzebowania. Pompy ciepła działają w trybie rewersyjnym, co oznacza, że to samo urządzenie może pracować w trybie chłodzenia i grzania. Dzięki temu możliwe jest zapewnienie żądanej temperatury w pomieszczeniach w zależności od chwilowych wymagań. Pompy ciepła są połączone między sobą wodnym pierścieniem z niezbędnymi pompami obiegowymi i zasobnikami ciepła, tworząc dwururowy obieg hydrauliczny. Temperatura wody krążącej w obiegu musi być utrzy-

mywana na poziomie od 15 do 35°C. Przy takim zakresie temperatur nie występuje ryzyko wykroplenia wilgoci na powierzchni rur, dlatego nie trzeba ich izolować. Pompy obiegowe wymuszają przepływ wody, który może być stały lub zmienny. Zaletą systemu pierścieniowego jest efektywne gospodarowanie energią przez przeniesienie ciepła z lokali, w których występuje nadmiar, do miejsc, w których jest deficyt.

Do systemu WLHP są podłączone źródła ciepła i chłodu, które mają za zadanie wspomóc pracę systemu, gdy same pompy ciepła nie są w stanie zapewnić wszystkich wymagań, np. w okresie tylko chłodzenia lub grzania. W sytuacji gdy zapotrzebowanie na ciepło i na chłód jest takie samo, działają tylko pompy ciepła. W przypadku zbyt dużego zapotrzebowania na ciepło (obniżenia dolnej wartości temperatury wody w obiegu) uruchamiane jest dodatkowe źródło ciepła w postaci np. węzła cieplnego, kotła gazowego lub olejowego. Natomiast przy wysokim zapotrzebowaniu na chłód (przekroczenia dopuszczalnej temperatury wody w obiegu) uruchamiane jest źródło chłodu, np. sprężarkowe agregaty chłodnicze lub otwarte wieże chłodnicze [6].

### Systemy scentralizowane jednokanałowe

Scentralizowane systemy jednokanałowe wykorzystują centrale dachowe typu rooftop zamiast zwykłych central wentylacyjnych. Rooftopy to urządzenia zawierające wszystkie niezbędne komponenty do efektywnego chłodzenia, ogrzewania i wentylacji z odzyskiem ciepła. W obudowie znajduje się agregat chłodniczy, dwa wentylatory, sekcja odzysku ciepła (np. wymiennik obrotowy), układ grzewczy (np. nagrzewnica), odpowiednie filtry oraz układ automatyki. Urządzenia te są przeznaczone do pracy z insta-



lacją kanałową lub bezkanałową [7,8]. Pomieszczenia, do których jest doprowadzona instalacja z rooftopu, powinny mieć zbliżoną charakterystykę ciepłno-wilgotnościową [9]. Scentralizowane systemy jednokanałowe znalazły zastosowanie w pomieszczeniach o dużej kubaturze, np. hipermarketach.

### Układy dwustopniowe

W systemach dwustopniowych powietrze wentylacyjne uzdatniane jest dwuetapowo. Centrala klimatyzacyjna przygotowuje wymagany ze względów higienicznych minimalny strumień powietrza zewnętrznego, który jest nawiewany do pomieszczenia, zaś dodatkowe urządzenie, np. klimakonwektor wentylatorowy, nadaje powietrzu w pomieszczeniu wymaganą temperaturę. Zaletą dwustopniowych układów klimatyzacyjnych jest możliwość regulacji temperatury indywidualnie dla każdego pomieszczenia lub danej strefy, co pozwala uwzględnić nie tylko różny poziom zysków ciepła, ale także indywidualne preferencje najemców. Wykorzystując taki układ, można wyeliminować konieczność podgrzewania powietrza nawiewanego, które zostało wcześniej schłodzone w centrali klimatyzacyjnej.

### Kurtyny powietrzne

Urządzenia te zazwyczaj są montowane nad drzwiami zewnętrznymi w budynku. Kurtyny powietrzne oddzielają dwie strefy o różnych temperaturach, pozwalając na poprawę warunków komfortu w pomieszczeniach i ograniczenie przepływu ciepła pomiędzy strefami. W zależności od modelu mogą działać w trybie grzania (kurtyny ciepłe) lub chłodzenia (kurtyny zimne). Zimą, aby chronić pomieszczenie przed nadmiernymi stratami ciepła, kurtyny nawiewają ciepłe powietrze podgrzane w nagrzewnicy wodnej lub elektrycznej, natomiast latem nawiewają powietrze wewnętrzne, nie zmieniając jego temperatury [10].

### Aparaty grzewczo-wentylacyjne

Są to urządzenia ściennie bądź sufitowe służące do ogrzewania i wentylowania obiektów wielokubaturowych, np. hal hipermarketów czy magazynów. W bardziej rozbudowanych wariantach mogą działać również w trybie chłodzenia. W obudowie każdej jednostki znajduje się wymiennik ciepła oraz wentylator. Powietrze zasysane przez wentylator, przepływając przez wymiennik

Poszukując oszczędności ciepła i energii elektrycznej, należy nie tylko dobrać urządzenia o odpowiedniej mocy, ale także zastosować właściwy sposób regulacji ich pracy.

ciepła, jest ogrzewane lub chłodzone, a następnie nawiewane do pomieszczenia. Aparaty grzewczo-wentylacyjne, ze względu na mniejszą wagę, są rozwiązaniem alternatywnym wobec central typu rooftop. Charakteryzują się niskimi kosztami eksploatacyjnymi oraz, dzięki niewielkiej bezwładności, dobrymi możliwościami regulacji temperatury przez poszczególne urządzenia [9].

### Oszczędność energii

Efektywne gospodarowanie energią na cele ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji należy zaplanować już na etapie wyboru koncepcji rozwiązań technicznych. Jednym ze sposobów ograniczenia zużycia energii jest efektywne wykorzystanie zysków ciepła, np. przez system WLHP. Duże ilości powietrza wentylacyjnego wymagają energii na jego uzdatnianie i transport. Wymienniki ciepła w centralach klimatyzacyjnych i rooftopach pozwalają na odzyskanie ciepła z usuwanego powietrza w celu ogrzania powietrza nawiewanego. Ograniczenie energii na ogrzewanie można też uzyskać, zmniejszając stratę ciepła z budynku przez zastosowanie kurtyn powietrznych nad drzwiami wejściowymi. Poszukując oszczędności ciepła i energii elektrycznej, należy nie tylko dobrać urządzenia o odpowiedniej mocy, ale także zastosować właściwy sposób regulacji ich pracy. Przykładem rozwiązania umożliwiającego oszczędności przez odpowiednią regulację strumienia powietrza wentylacyjnego jest wykorzystanie wentylacji na żądanie, którą realizuje system nawiewu powietrza VAV. Opracowywane są także (i coraz częściej implementowane) bardziej zaawansowane strategie sterowania, wykorzystujące np. modele predykcyjne [11].

### Wentylacja pożarowa

Projektując instalacje HVAC w centrach handlowych, należy przewidzieć również instalację wentylacji pożarowej. Budynek użyteczności publicznej, jakim są centra handlowe, podlegają ścisłym przepisom w zakresie warunków technicznych oraz bezpieczeństwa pożarowego. W przypadku zaistnienia pożaru, aby umożliwić skuteczną ewakuację ludzi przebywających w budynku, kluczową kwestią jest efektywne usuwanie dymu. Dym, będący mieszaniną powietrza, gazowych produktów spalania oraz cząstek stałych i ciekłych, działa drażniąco, a nawet toksycznie. Zadymienie skutecznie ogranicza widzialność, co może doprowadzić do ogólnej paniki wśród przebywających w budynku osób. W czasie pożaru na drogach ewakuacyjnych nie może wystąpić zadymienie ani zbyt wysoka temperatura. Instalacja wentylacji pożarowej powinna również zapewnić stały dopływ powietrza zewnętrznego, kompensującego braki powietrza w wyniku jego usuwania wraz z dymem. W strefach

Projektując instalacje HVAC w centrach handlowych, należy przewidzieć również instalację wentylacji pożarowej. Budynek użyteczności publicznej, jakim są centra handlowe, podlegają ścisłym przepisom w zakresie warunków technicznych oraz bezpieczeństwa pożarowego.

przebywania ludzi widoczność oraz stężenie toksycznych gazów muszą być utrzymane na poziomie niestanowiącym bezpośredniego zagrożenia dla ludzi. Dym podczas pożaru przemieszcza się ku górze, a po dotarciu do strefy sufitowej zaczyna stopniowo się obniżać, dlatego ważne jest zapewnienie tzw. zbiorników dymu, których zadaniem jest jego zgromadzenie w danej strefie i ograniczenie rozprzestrzeniania się po suficie całego budynku. Dym z takiej strefy powinien zostać odprowadzony na zewnątrz za pomocą klap oddymiających lub wentylatorów oddymiających [12].

Wentylacja oddymiająca może być realizowana na dwa sposoby: jako system naturalny lub mechaniczny. Z uwagi na zapewnienie bezpieczeństwa dużej liczbie osób przebywających w centrach handlowych najczęściej stosuje się wentylację mechaniczną z użyciem wentylatorów oddymiających [13]. Spowodowane jest to faktem, iż przemieszczająca się ku górze kolumna dymu zasysa powietrze z otoczenia, co prowadzi do zwiększenia objętości dymu i obniżenia jego temperatury. W tym wypadku zbyt niska temperatura dymu może wpłynąć na nieprawidłowe działanie wentylacji naturalnej [10]. Projektowanie systemu oddymiania wymaga dokładnej analizy rozkładu ciśnienia w pomieszczeniach w trakcie pożaru. Rozkład ten zależy od kilku czynników, m.in. od zmian temperatury, objętości powietrza i gazów spalinyowych oraz oddziaływania wiatru na budynek [14]. Podczas wyboru właściwego systemu oddymiania należy uwzględnić zarówno architekturę budynku, jego przeznaczenie, sposób użytkowania, jak i przewidywaną moc pożaru. W przypadku budynków wielokubaturowych, do których zalicza się centra handlowe, korzysta się z symulacji komputerowych FDS (*Fire Dynamics Simulator*) obrazujących przebieg pożaru oraz przepływ dymu.

### Podsumowanie

Przedstawione w artykule instalacje i urządzenia HVAC należą do typowych rozwiązań stosowanych w obiektach handlowych, jednak nie wyczerpują wszystkich możliwych wariantów. Szczęólnego podejścia wymagać będą obiekty handlowe powsta-



jące w starych, często historycznych budynkach poddawanych rewitalizacji. Dobierając konkretne systemy dla centrów handlowych, należy uwzględnić przeznaczenie poszczególnych pomieszczeń i stref oraz sposób ich eksploatacji. Opracowując koncepcję technicznych rozwiązań, bardzo ważne jest poprawne ustalenie projektowego obciążenia cieplnego i wilgotności, a także określenie strumienia powietrza wentylacyjnego. ■

DOI: 10.5604/01.3001.0013.3407

Artykuł naukowy opublikowany w ramach projektu „Wsparcie dla czasopism naukowych” dofinansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (202/WNC2019/1).

#### Bibliografia

- [1] Rynek handlowy w Polsce. Market View Q4 2018. Raport CBRE Research, 2018 dostępny na <https://www.cbre.pl/pl-pl/raporty>.
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dn. 12.04.2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2002 r. Nr 75, poz. 690 z późn. zm.).
- [3] Hendiger J. i in., Wentylacja i klimatyzacja. Materiały pomocnicze do projektowania, Warszawa: Venture Industries, 2014.
- [4] Lipska B, Trzeciakiewicz Z., Projektowanie wentylacji i klimatyzacji. Zagadnienia zaawansowane, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2017.

- [5] Sosnowski R., Pompy ciepła w pętli wodnej – opis systemu WLHP, „Rynek Instalacyjny”, nr 7–8, 2018.
- [6] Adamski B. Systemy WLHP – mity i fakty. Analiza wybranych zagadnień dotyczących systemów pierścieniowych, „Chłodnictwo i Klimatyzacja”, nr 8, 2009, s. 61–67.
- [7] <http://www.rynekinstalacyjny.pl/artykul/id3482.centrale-dachowe-typu-rooftop-przeglad-rozwiazan>, dostęp 12.06.2019.
- [8] <https://www.flowair.com/pl/urzedzenia-typu-rooftop-z-odzyskiem-ciepła.html>, dostęp 12.06.2019.
- [9] Pandelidis D., Anisimov S., Rozwiązania HVAC dla obiektów handlowych, „Chłodnictwo i Klimatyzacja”, nr 10, 2014, s. 48–55.
- [10] <https://www.wentylacyjny.pl/1716-3-3-kurtyny-powietrzne-przeglad-oferty-rynkowej.html><http://vtsgroup.pl/WING.html>, dostęp 12.06.2019.
- [11] Mantovani, G. i Ferrarini, L. Temperature Control of a Commercial Building With Model Predictive Control Techniques, 2015, “IEEE transactions on industrial electronics”, Vol. 62(4), s. 2651–2660.
- [12] Król M., Wentylacja pożarowa. Poradnik projektanta. FläktWoods, FläktGroup Poland 2014.
- [13] Kaiser K., Wentylacja pożarowa. Projektowanie i instalacja. Medium Grupa, Warszawa 2013.
- [14] Mizeliński B., Systemy oddymiania budynków, WNT, Warszawa 2018.

**Streszczenie:** Współczesne obiekty handlowe przejmują dodatkowe funkcje, zapewniając swoim klientom rozrywkę i rekreację. Zróżnicowanie przestrzeni pod kątem ich przeznaczenia oraz obciążeń cieplno-wilgotnościowych wymaga odpowiedniego podejścia do projektowania systemów

ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji. W artykule przedstawiono najczęściej stosowane rozwiązania instalacji HVAC umożliwiające utrzymanie komfortu cieplnego i dobrej jakości powietrza w obiektach handlowych. Przedstawiono także rozwiązania wentylacji pożarowej niezbędne w wielokubaturowych obiektach użyteczności publicznej.

**Słowa kluczowe:** obiekty handlowe, systemy HVAC, wentylacja, klimatyzacja

**Abstract:** Ventilation and air-conditioning systems (HVAC) in shopping centers. Modern commercial buildings provide additional functions for their clients such as entertainment and recreation. Internal spaces differ in terms of their function as well as thermal and humidity loads, therefore the design of heating, ventilation and air conditioning systems requires a proper approach. The article presents the most frequently used solutions of HVAC installations that enable maintaining thermal comfort and good indoor air quality in commercial facilities. Fire ventilation solutions, necessary in large-scale public buildings, are also presented.

**Słowa kluczowe:** Commercial facilities, HVAC systems, ventilation, air conditioning

REKLAMA

## PROBLEMY DOROSŁYCH OBCIĄŻAJĄ CODZIENNOŚĆ DZIECI.

**Razem możemy zdjąć z nich ten ciężar.** Wiele dzieci każdego dnia musi mierzyć się z problemami, które odbierają dzieciństwo, utrudniają naukę i kontakt z rówieśnikami. Razem możemy to zmienić. Pomóż nam zapewnić opiekę, wsparcie edukacyjne i psychologiczne dla potrzebujących dzieci z SOS Wiosek Dziecięcych oraz programu „SOS Rodzinie”.

**Prosimy, przekaz darowiznę  
na konto 07 1240 6247 1111 0000 4975 0683  
tytuł przelewu: “SOS pomoc”  
lub na stronie [www.dziecisos.org](http://www.dziecisos.org)**



**SOS WIOSKI  
DZIECIĘCE**

# Korona Warszawy – najwyższe z najwyższych



**dr inż. arch. Anna Nowak**

**ORCID: 0000-0003-2952-904X**

**dr inż. arch. Hubert Markowski**

**ORCID: 0000-0002-9372-2963**

**Wydział Architektury Politechniki Warszawskiej**

# VARSO

Aktualnie w Warszawie powstaje wieżowiec, który po zakończeniu budowy stanie się najwyższym budynkiem Unii Europejskiej, osiągając 310 metrów wysokości. Mowa o kompleksie Varso, który ze względu na swoją ogromną kubaturę i powierzchnię wymaga szczególnego przygotowania technicznego, organizacyjnego, ale również formalnoprawnego.

**P**okona on dotychczasowego dominatora, wieżowiec The Shard w Londynie o wysokości 309,6 metrów. Budowę wieżowca rozpoczęto pod koniec roku 2016, zakończenie planowane jest na ostatni kwartał roku 2020. Nazwa budynku realizowanego przez słowacką firmę developerską HB Reavis nawiązuje do łacińskiej nazwy Warszawy – Varsovia. Obiekt powstaje na działce o powierzchni 1,8 ha zlokalizowanej w ścisłym centrum Warszawy w dzielnicy Wola, na rogu ulicy Chmielnej i alei Jana Pawła II w bezpośrednim sąsiedztwie Dworca Centralnego, hotelu Marriott oraz Pałacu Kultury i Nauki [1].

## Wpisanie kompleksu w historyczny układ urbanistyczny

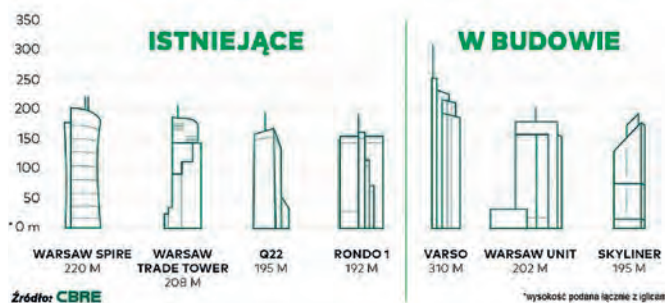
Usytuowanie budynku w tkance urbanistycznej Warszawy ma wiele ważnych historycznych odniesień. Ul. Chmielna w przedwojennym układzie funkcjonalnym miasta była jedną z ważniejszych arterii komunikacyjnych umożliwiających ruch pieszy i kołowy w relacji wschód–zachód. Cała ulica posiadała gęstą zabudowę pierzejową złożoną głównie z kamienic czynszowych. W okolicy opisywanej działki zamieniała się w zabudowę przemysłową związaną z obsługą kolejowej linii średnicowej. W czasie wojny zabudowania znajdujące się w tym rejonie zostały zniszczone, a ruiny rozebrane. Działka do czasów współczesnych pozostawała niezabudowana.

Ulica Chmielna w związku ze zniszczeniami wojennymi utraciła swój pierwotny architektoniczny charakter. Dodatkowo w wyniku budowy Pałacu Kultury i Nauki oraz wytyczenia alei Jana Pawła II przestała pełnić rolę arterii komunikacyjnej w relacji wschód–



Fot. arch. Hermanowicz Rewski Architekci

Fot. 2 Wizualizacja zespołu budynków Varso od strony ulicy Chmielnej



Fot. 3. Dominanty przestrzenne w Warszawie istniejące i w trakcie budowy

Fot. 1. Wizualizacja kompleksu Varso od Alei Jerozolimskich. Dwa niższe budynki zostały zaprojektowane przez warszawską pracownię Hermanowicz Rewski Architekci. Najwyższa wieża jest autorstwa światowej sławy architekta sir Normana Fostera



Fot. arch. HB Reavis

zachód. Koncepcja projektowa Varso zakłada przywrócenie poprzedniego znaczenia tej części miasta dla Warszawy. Odnowienie dawnego architektonicznego charakteru tej przestrzeni będzie polegać na odtworzeniu ciągu 210-metrowej pierzei. Dodatkowo zakłada się połączenie części podziemnej budynku z ciągami pieszymi Dworca Centralnego, co pozwoli przejść bez przeszkód z wolskiej części ulicy Chmielnej do centrum miasta. Wieżowiec Varso będzie stanowił istotny element widokowy widoczny z różnych przestrzeni publicznych, m.in. z pasażu pieszego przy dworcu Warszawa Śródmieście.

Przewidziany jest również remont ulicy Chmielnej we współpracy z inwestorem i Zarządem Dróg Miejskich, obejmujący projekt ścieżki rowerowej i zieleni miejskiej [2].

Drugim istotnym elementem urbanistycznym jest złamanie dominującego w panoramie Warszawy budynku Pałacu Kultury i Nauki wzniesionego w 1955 r., mającego wysokość całkowitą 237 metrów. Wysokość Varso do dachu będzie wynosiła 230 metrów przy 187 metrach Pałacu Kultury. Iglica projektowana na dachu Varso będzie powiększała jego wysokość całkowitą do 310 metrów w porównaniu do wspomnianych 237 metrów PKiN. Oznacza to, że sylweta Varso zasadniczo wpłynie na zmianę układu dominant wysokościowych w panoramie Warszawy (fot. 3.).

### Koncepcja architektoniczna

Pod nazwą Varso kryje się jednak nie tylko jeden niezwykle wysoki budynek, ale nowoczesny kompleks trzech wysokościow-

ców. Koncepcja architektoniczna zakłada połączenie wszystkich trzech wież jednym korpusem, w którym znajdują się części usługowe, takie jak pasáže handlowe z licznymi sklepami, restauracjami i kawiarniami. Również część podziemna sięgająca głębokości 19,5 m, posiadająca cztery kondygnacje, jest wspólna dla wszystkich trzech budynków. Pierwsza została przeznaczona na dostawy do części usługowo-handlowej i jest znacznie wyższa od pozostałych kondygnacji podziemnych przewidzianych na garaże i pomieszczenia techniczne. Kubatura całego kompleksu będzie obejmować ponad 1 mln m<sup>3</sup>. We wszystkich budynkach przewidziano 140 tys. m<sup>2</sup> powierzchni netto pod wynajem [1].

Główna wieża oprócz imponującej wysokości 310 m będzie składała się z 53 kondygnacji naziemnych o powierzchni jednej kondygnacji ok. 1500 m<sup>2</sup>. Pozostałe dwa budynki będą znacznie niższe, osiągną odpowiednio wysokość 90 metrów i 21 kondygnacji naziemnych oraz 81 metrów i 19 kondygnacji naziemnych. Powierzchnia kondygnacji przeznaczonej pod wynajem w tych wieżach będzie się wahać pomiędzy 950–1250 m<sup>2</sup> [1].

Varso w swojej formie architektonicznej został podzielony na trzy osobne wieże. Ten podział dotyczy także głównych projektantów części architektonicznej. Dwa niższe budynki zostały zaprojektowane przez warszawską pracownię Hermanowicz Rewski Architekci. Najwyższa wieża jest autorstwa pracowni światowej sławy architekta sir Normana Fostera. W realizacji części projektowej inwestycji uczestni-

Fot. 4. Kompleks Varso w trakcie budowy widziany od strony alei Jana Pawła II, od lewej widoczne dwie niższe wieże, po prawej najwyższy budynek



Fot. arch. Hubert Markowski

czą takie firmy, jak Epstein, który odpowiada za projekty wykonawcze, RS Architects oraz BuroHappold przygotowujące projekty konstrukcyjne, instalacji technicznych i analiz efektywności energetycznej. Projekty wnętrza części ogólnodostępnej opracowała firma Benoy Solutions [1]. W konsultacjach w zakresie certyfikacji BREEAM brała udział firma Sweco Consulting.

Kompleks składa się z trzech budynków: Varso 2 od strony zachodniej, Varso 1 w części centralnej i wieża Varso od strony wschodniej.

## Budynki Varso 1 i Varso 2

W niższych budynkach, o łącznej powierzchni 75 tys. m<sup>2</sup>, na poziomie parteru i kondygnacji +1 przewidziano przestrzeń handlowo-usługową o powierzchni całkowitej 4528 m<sup>2</sup>. Na wyższych kondygnacjach zaprojektowano powierzchnie biurowe w niskiej zabudowie (do 6 kondygnacji w Varso 1 i 7 kondygnacji w Varso 2) i wysokiej zabudowie (do 18 kondygnacji Varso 1 i 20 Varso 2), o łącznej powierzchni 59 690 m<sup>2</sup>. W obiektach przewidziano 4 kondygnacje połączonych parkingów podziemnych mieszczących 1056 miejsc parkingowych.

W obiekcie Varso 1 będzie mieścił się 4-gwiazdkowy hotel NYX, zaś w budynku Varso 2 Cambridge Innovation Center.

## Wieża Varso

W wieży Varso przewidziano na parterze lobby o wysokości 14 metrów i powierzchni 357 metrów. Z przestrzeni lobby można przejść na perony Dworca Centralnego i do Złotych Tarasów. Przestrzeń handlowo-usługowa obiektu na kondygnacji parteru i 1. piętra jest połączona z przestrzeniami w budynkach Varso 1 i Varso 2. W efekcie uzyska się wrażenie rozbudowanego miejskiego pasażu.

Na kondygnacjach od 2. do 41. przewidziano funkcję biurową o łącznej powierzchni 58 770 m<sup>2</sup> oraz apartamenty biurowe na kondygnacjach od 42. do 45. o łącznej powierzchni 4200 m<sup>2</sup>.

Ostatnie kondygnacje od 46. do 48. zostały przewidziane na lokalizację panoramicznej restauracji o powierzchni całkowitej 1486 m<sup>2</sup>.

Ponadto w budynku zaprojektowano dwupoziomowy taras widokowy Vista Terrace na poziomie 49. piętra oraz Widok 360 na 53. piętrze – będący jednym z najwyższych położonych w Europie.

## Proces budowy

Obiekt o tak gigantycznej kubaturze i powierzchni zabudowy 18 000 m<sup>2</sup> wymaga szczególnego przygotowania technicznego, organizacyjnego, ale również formalnoprawnego. Plac budowy został podzielony na trzy działki robocze dostosowane do formy architektonicznej budynku odpowiadającej każdej z wież. Na każdą część zostało uzyskane

osobne pozwolenie na budowę. Tego typu rozwiązanie pozwoli inwestorowi na formalne zakończenie realizacji poszczególnych budynków niezależnie od zaawansowania prac w innych częściach obiektu (fot. 4).

Inwestor zamierza w pierwszej kolejności zakończyć prace i oddać do użytkownika niższe budynki, następnie ukończyć najwyższą wieżę. Podobne rozwiązanie zostało zastosowane w budynkach Warsaw Spire, gdzie również towarzyszące najwyższej wieży niższe budynki zostały wcześniej ukończone i oddane do użytkownika [3]. Rozwiązanie to znacznie ułatwia finansowanie całej budowy. Konsekwencją podziału inwestycji na trzy działki budowlane była konieczność wykonania trzech oddzielnych wykopów fundamentowych zabezpieczonych ścianami szczelinowymi (fot. 5).

Podczas procesu budowy zdarzają się nieprzewidziane sytuacje, co nie ominęło również placu budowy kompleksu Varso. Podczas wykonywania wykopów pod budynkiem Varso 2 odkryto gład narzutowy o długości około 5 metrów i wadze około 60 ton. Gład został wydobyty i przewieziony tymczasowo na Pola Mokotowskie. To niezwykle cenne znalezisko powróci na swoje miejsce po zakończeniu budowy i zostanie umieszczone w przestrzeni publicznej przed wejściem do kompleksu Varso od strony budynku Varso 2.

Istotnym elementem podczas całego procesu budowy będzie montaż 80-metrowej iglicy. Do tego celu zostały sprowadzone z Wielkiej Brytanii specjalne dźwigi, które umożliwią podniesienie iglicy na wysokość 310 metrów. Dźwigi są kotwione do konstrukcji i posiadają wychylne ramię. Zastosowanie tego typu maszyn było przewidziane na etapie projektu konstrukcyjnego (fot. 6).

## Rozwiązania konstrukcyjne

Ze względu na zaleganie na znacznej głębokości ilów plicieńskich konieczne było wykonanie ścian szczelinowych do głębokości 32 m. Grubość tych ścian wynosi 80 cm, a zostały one wylane z betonu klasy C30/37 W8 (fot. 7). Część podziemną budynku skonstruowano metodą stropową w jej klasycznej odmianie. Stabilność ścian szczelinowych uzyskano poprzez siły rozporu od poszczególnych stropów oraz dwóch rzędów kotew. Obniżono poziom wód gruntowych, stosując liczne studnie depresyjne.

Ze względu na realizację ścian w miękkich ilach plicieńskich nie uniknięto znacznych odkształceń poszczególnych sekcji ściany szczelinowej. Różnice pomiędzy sąsiednimi odcinkami ściany dochodziły nawet do 40 cm na kilku metrach długości (fot. 8).

Zastosowanie nowoczesnych technik wykonywania fundamentów nie uchroniło inwestora od konieczności analizy wpływu inwestycji na otaczającą obiekt infrastrukturę techniczną, w szczególności istniejące bu-

dynki oraz tunel kolei średnicowej. Stabilność ściany szczelinowej była badana poprzez szereg czujników analizujących przemieszczenia pionowe i poziome korony ściany. W tym celu wykorzystano inklinometry do analizy odchyłów od pionu. Zachowanie wód gruntowych otaczających budynek monitorowano poprzez zastosowanie piezometrów. Strefą oddziaływania w odległości 22 metrów od wykopu zostało objętych 11 obiektów wybudowanych w różnych okresach, w tym przed drugą wojną światową, o różnej konstrukcji i stanie technicznym, a także wspomniany tunel kolei średnicowej znajdujący się w odległości 6,5 metra od ściany wykopu. Analizie istniejącej infrastruktury zostały poddane przemieszczenia pionowe i poziome realizowane przez liczne czujniki zamontowane na budynkach oraz w tunelu średnicowym. Wyniki pomiarów nie wskazywały na istotne przemieszczenia oraz negatywny wpływ budowy kompleksu Varso na sąsiednie obiekty. Zasadniczo inna sytuacja wystąpiła w tunelu średnicowym. Ze względu na zaleganie w tym obszarze na dużych głębokościach ilów plicieńskich o wysokich modułach odkształcalności istniało ryzyko, że w przypadku wykonywania wykopu fundamentowego pod budynki Varso nastąpi odciążenie skonsolidowanego gruntu i w konsekwencji osiada-

Fot. 5. Kompleks Varso w trakcie budowy widziany od strony ulicy Chmielnej, na pierwszym planie dwa niższe budynki, w tle wznoszona najwyższa wieża





Fot. 6. Specjalne dźwigi, które posłużą po wydłużeniu do montażu iglicy oraz widok deskowania firmy Doka. Wznoszenie tak wysokiego budynku wymaga właściwej koordynacji pracy na budowie oraz zastosowania specjalistycznych deskowań

nie znajdującego się najbliżej wykopu tunelu kolei średnicowej. Wyniki pomiarów przemieszczeń pionowych wskazały maksymalną wartość osiadania główek torów na 1,4 cm. W trakcie wykonywania konstrukcji budynku, która stopniowo dociążyła dno wykopu, osiadanie tunelu ustalo, a po pewnym czasie zaczęło maleć, wracając do pierwotnej wartości.

W budynku przewidziano dwa miejsca połączenia kompleksu Varso z Dworcem Centralnym: jedno techniczne na poziomie parkingu, a drugie ogólnodostępne na poziomie głównego lobby. Istotnym elementem było połączenie żelbetowej konstrukcji z lat 70. XX wieku z nowo projektowaną konstrukcją obiektu w części przejścia technicznego (fot. 9).

Drugim istotnym elementem, który bardzo szczegółowo analizowano, był wpływ drgań wywołanych ruchem kolejowym w tunelu średnicowym na powstający obiekt. Wykonano liczne ekspertyzy, które jednoznacz-

nie oceniły, że oddziaływanie drgań wywołanych bliskością tunelu średnicowego jest znaczące i ma istotny wpływ na konstrukcję wznoszonego obiektu. W konsekwencji wprowadzono liczne zmiany w projekcie wykonawczym konstrukcji Varso, a jedną z nich było pogrubienie stropów w całym budynku o dwa centymetry.

Płyta fundamentowa ma grubość 3 metrów, a pod najwyższym budynkiem została powiększona o 60 cm. Ten element konstrukcyjny jest w całości wykonany z betonu klasy C50/60. W odróżnieniu od innych tego typu realizacji projektanci zrezygnowali z optymalizacji grubości płyty fundamentowej, przyjmując praktycznie jedną jej grubość. Decyzja ta została podjęta w wyniku analizy kosztów budowy, z których wynikało, iż realizacja płyty o jednakowej grubości będzie szybsza i nie będzie związana ze zbędnymi kosztami spowodowanymi wykonywaniem skomplikowanej izolacji przeciwwodnej oraz zbrojenia. Płyta denna została posadowiona na ba-



Fot. 7. Widoczne przecięcie ściany szczelinowej wybudowanej pomiędzy dwoma działkami budowlanymi



Fot. 8. Ściana szczelinowa po naprawie



Fot. 9. Miejsce połączenia Kompleksu Varso z pasażami Dworca Centralnego, widoczna różnica w technologii wykonywania elementów żelbetowych w latach 70. XX w i obecnie

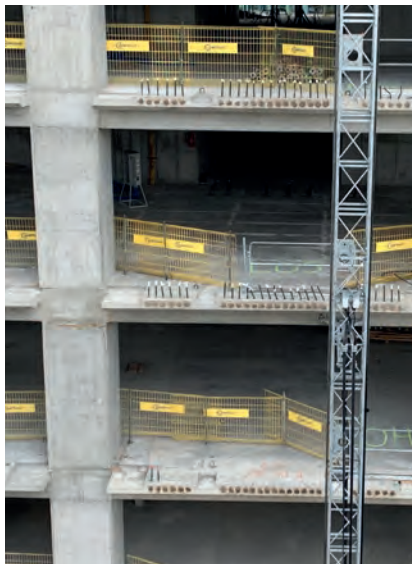
zic licznych baret, które pośrednio przenoszą obciążenia i mają za zadanie obniżenie osiadań budynku w fazie użytkowania oraz ograniczenie podnoszenia płyty w fazie wykonywania konstrukcji kondygnacji podziemnych.

Konstrukcja wszystkich trzech budynków została oparta o ustrój nośny trzonowy żelbetowy, wspomagany zewnętrznymi słupami oraz wzmocniony obwodowymi belkami. Największe słupy znajdujące się w części podziemnej najwyższego budynku mają rozmiary 70 x 70 cm i są wykonane z betonu klasy C70/85 z zastosowaniem specjalnie przygotowanego zbrojenia. Największe rozpiętości stropów o grubości 28 cm występują w najwyższej wieży i wynoszą średnio 11–11,5 metra. Ze względu na znaczne rozpiętości stropy te zostały sprężone kablami z wykorzystaniem betonu klasy C50/60. Wznoszenie tak wysokiego budynku wymaga właściwej koordynacji pracy na budowie oraz zastosowania specjalistycznych deskowań. Do wznoszenia najwyższej części budynku

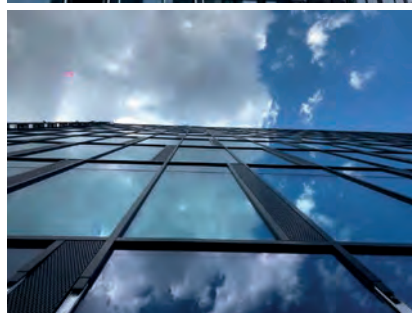
wykorzystano systemy kroczące firmy Doka. Użycie deskowania tej firmy pozwala na wykonanie jednej kondygnacji budynku w ciągu pięciu dni.

## Elewacje

Stropy w budynku projektowanym przez arch. Normana Fostera posiadają charakterystyczne wsporniki o wysięgu 1 m (fot. 10.), które zostały dodane na życzenie angielskiego projektanta. Ich zadaniem jest niwelowanie efektu podziału na elewacji zewnętrznej, która będzie składać się z charakterystycznych



Fot. 10. Widok wsporników przeznaczonych do mocowania fasady



Fot. 11 a, b Widok elewacji w budynku Varso 1

nych linii przebiegających wertykalnie i horyzontalnie, wypełnionych szklanymi tafelami. Podziały te będą przebiegać co kilka kondygnacji, stąd niezwykle ważne jest pozostawienie elementów konstrukcyjnych umożliwiających zamocowanie elewacji, które nie będą zaburzały charakteru architektonicznego fasady. W projektowaniu elewacji brała udział firma Emmer Pfenninger.

Podium budynków Varso 1 i Varso 2 swoją wysokością i zastosowaną okładziną kamienną nawiązuje do otaczającej zabudowy. Elewacje wyższych pięter zaprojektowano jako przeszkloną ścianę osłonową (fot. 11).

## Rozwiązania proekologiczne i instalacje techniczne

Inwestor nie zapomniał o ekologicznej stronie realizowanej inwestycji. Zdecydował się na otrzymanie certyfikatu BREEAM. Oznacza to, że na etapie projektowania, wykonawstwa oraz oddania do użytkowania cały proces inwestycyjny zostanie poddany rygorystycznym analizom pod kątem oddziaływania na środowisko. Inwestor postawił sobie ambitny cel otrzymania najwyższego poziomu certyfikatu typu *outstanding*, czyli „wybitny”. Kompleks uzyskał również precertyfikat WELL Core & Shell. W obiektach Varso 1 i Varso 2 przewidziano m.in. stacje do ładowania aut elektrycznych, oświetlenie stref wspólnych kontrolowane czujnikami ruchu czy system kontroli dostępu i klimatyzacji zarządzany przez BMS. Na dachach kompleksu przewidziano zielone tarasy dostępne dla pracowników. W wieży Varso zaproponowano parking dla 250 rowerów wraz z odpowiednią infrastrukturą dla rowerzystów oraz podobne rozwiązania instalacyjne jak w niższych budynkach. Wykorzystanie zróżnicowanych systemów pozwoli na zmniejszenie zużycia energii i wody [4]. Rodzaj i zakres rozwiązań proekologicznych były analizowane na wczesnym etapie projektu w celu wybrania najkorzystniejszej strategii [5].

Biuro projektowe BuroHappold Engineering przeprowadziło analizę możliwości wymieniania i naprawy instalacji technicznych po 20–30 latach użytkowania, co przyczyniło się do wydania wytycznych w zakresie sposobu ich instalacji [5]. W obiekcie przewidziano system mgły wodnej (umożliwiający ugaszenie pożaru przy zminimalizowaniu strat wynikłych w akcji gaśniczej), hydranty, odsysania dymu, kompensacji powietrza dla potrzeb wentylacji pożarowej, utrzymywania ciśnienia, czy też wewnętrzny bezprzewodowy system komunikacji ppoż.

Budowa kompleksu Varso pozwoli przywrócić tej części Warszawy jej przedwojennego ducha wyrażonego w nowoczesnej formie. Inwestor, rozumiejąc funkcjonowanie współczesnej architektury, skomponował budynek w taki sposób, aby tętnił życiem także

w godzinach popołudniowych. Wprowadzając w przyziemie budynku funkcje usługowe i handlowe, otworzył obiekt na okolicznych mieszkańców, dzięki czemu stanie się on żywym elementem tkanki miejskiej. Dodatkowym atutem realizacji Varso będzie przebudowa okolicznych terenów, która będzie polegać na wprowadzeniu licznych elementów małej architektury, nowych nasadzeń zieleni wysokiej i niskiej oraz przebudowy ciągów pieszych.

Realizacja Varso nie tylko podniesie jakość przestrzeni architektonicznej i urbanistycznej tej części Warszawy oraz wpłynie silnie na zmianę panoramy stolicy, ale może również zmienić podejście do historyczno-politycznej oceny realizacji budynków wysokich. Wszyscy oponenti istnienia Pałacu Kultury i Nauki dzięki budowie Varso wreszcie będą mogli spojrzeć na niego z góry. ■

DOI: 10.5604/01.3001.0013.3423

## Bibliografia:

- [1] Varso już w budowie – ruszyła długo wyczekiwana inwestycja w centrum Warszawy. [www.hbreavis.com](http://www.hbreavis.com).
- [2] Portal Inwestycje Warszawa naszemiasztol. Wróblewski P., Varso Place. Rekordowo wysoki wieżowiec rośnie o piętro co tydzień. <https://warszawa.naszemiasztol.pl/varso-place-rekordowo-wysoki-wiezowiec-rosnie-o-pietro-co-tydzien/>, dostęp 04.08.2019.
- [3] Markowski H., Owczarczyk K., Szulborski K., Budownictwo Wysokie w Polsce. Najnowsze Realizacje, „Builder” nr 10, Warszawa 2014.
- [4] Epstein. Varso High-Rise Office Development. <<https://www.epsteinglobal.com/ro/case-studies/varso-high-rise-office-development/>>, dostęp: 4.08.2019.
- [5] BuroHappold Engineering. Varso Tower. <<https://www.burohappold.com/projects/varso-tower/>>, dostęp: 4.08.2019.

**Streszczenie:** Korona Warszawy – najwyższe z najwyższych. Aktualnie w Warszawie powstaje wieżowiec, który po zakończeniu budowy stanie się najwyższym budynkiem Unii Europejskiej, osiągając 310 metrów wysokości. Budynek o tak gigantycznej kubaturze i powierzchni zabudowy 18 000 m<sup>2</sup> wymaga szczególnego przygotowania technicznego, organizacyjnego, ale również formalnoprawnego. Artykuł przybliży proces budowy z zastosowanymi rozwiązaniami.

**Słowa kluczowe:** wieżowiec, konstrukcja, nowoczesne techniki

**Abstract:** Warsaw's crown – the highest of the highest. Currently, a skyscraper is being constructed in Warsaw, and once it is completed, it will reach 310 m in height and will be the tallest building in the European Union. A building with such a huge cubic capacity and a total area of 18,000 m<sup>2</sup> requires special technical, organisational, formal and legal preparation. This paper describes the construction process of this building and the solutions which were used in this process.

**Keywords:** skyscraper, construction, modern techniques

Ryc. 1. Budynek Brock Commons w Vancouver



Fot. z witryny Uniwersytetu Kolumbii Brytyjskiej www.ubccca, na licencji Creative Commons

# Drewno we współczesnej architekturze

## Część 2. Budownictwo szybkościowe z drewna



**dr hab. inż. arch. Jarosław Szewczyk, prof. nzw. PB**  
**ORCID – 0000-0002-2454-2934**  
**Politechnika Białostocka, Wydział Architektury,**  
**Pracownia Urbanistyki i Planowania Przestrzennego**  
**w Zakładzie Architektury Mieszkaniowej**

PARTNER TEMATU

**budizol**

Od wielu stuleci drewno było materiałową alternatywą budowlaną przyjazną niecierpliwym inwestorom. Od XIX wieku budownictwo drewniane wspierano coraz to nowszymi technologiami przyspieszającymi montaż, zaś ostatnie dekady przyniosły nowe koncepty błyskawicznie wznoszonych drewnianych „domów-składałów”, „domów modułowych”, „wikidomów” oraz ich analogie w budownictwie niemieszkalnym.



Gdy w październiku 2015 roku kanadyjskie biuro projektowe Acton Ostry Architects we współpracy z austriackim Architekten Hermann Kaufmann rozpoczęło wznoszenie w Vancouver 18-kondygnacyjnego akademika Brock Commons dla 404 studentów Uniwersytetu Kolumbii Brytyjskiej, media informacyjne rozgłosiły, iż w ten sposób powstaje najwyższy na świecie wysokościowiec drewniany.

Nie było to do końca prawdą, bo do czerwca 2016 roku obserwatorzy mogli na placu budowy oglądać jedynie beton – stopniowo wlewano wówczas całkowicie żelbetową konstrukcję parteru i wznoszono dwa masywne 53-metrowe żelbetowe trzony z windami, schodami i pionami technicznymi.

Jednak od czerwca 2016 roku na plac budowy wkroczyła firma wykonawcza Seagate Structures oraz producent elementów budowlanych z drewna klejonego Structurlam, podnosząc co tydzień budynek (oprócz wcześniej ukończonych wspomnianych trzonów i parteru) o dwie kondygnacje montowane z wcześniej przygotowanych drewnianych prefabrykatów. Siedemnaście drewnianych pięter powstało w ciągu zaledwie dwóch miesięcy, a opinię publiczną obiegła informacja, że drewniane prefabrykaty nie tylko mogą służyć w budowlach wysokościowych o konstrukcji hybrydowej, lecz przyspieszają montaż dwukrotnie w stosunku do najszybciej montowanych konstrukcji stalowych.

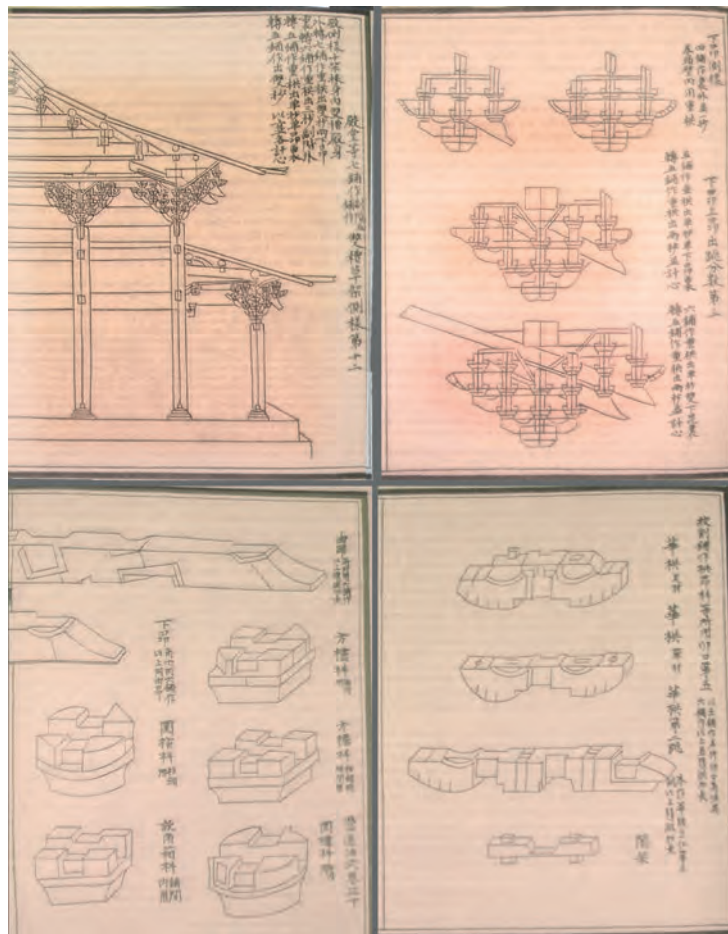
Od tego czasu stara już koncepcja szybkościowego wznoszenia dużych budynków z prefabrykatów, tyle że drewnianych, nabrała nowego znaczenia, czego wyrazem jest obserwowane od 2–3 lat upodobanie architektów i uczestników studenckich konkursów projektowych do futurystycznych wizji nowej drewnianej architektury modularnej – błyskawicznie montowanej, lecz zarazem wielkoskalowej: wysokiej, monumentalnej, zwielokrotnianej w niezrealizowanych jeszcze założeniach wielkich „drewnianych miast”. I jak niejedna wielka koncepcja, również ta ma korzenie w przeszłości.

## Początki idei

Okolo 1170 roku n.e. anglo-normandzki kronikarz Robert Wace z Jersey napisał poświęcone historii Normanów dzieło *Roman de Rou*, a w nim wzmiankował, że lądujące sto lat wcześniej pod Hastings drewnie z armią Williama Zdobywcy przywiezły były drewniane elementy nośne budynków, „...odpowiednio ukształtowane jako ramy z otworami na połączenia na sworznie, które również przywieziono; wszystkie były odpowiednio docięte i przysposobione w wielkich beczkach. Toteż już przed wieczorem stanął wykonany z nich fort.

W tym samym czasie inżynierowie cesarskich dworów Chin i Japonii pracowali nad standaryzacją drewnianych elementów budowlanych oraz ich połączeń, a budowniczości pagód na terenach obu cesarstw rezygnowali z cegiel i kamienia na rzecz drewna po to, by móc wnieść kolejną pagodę nie tylko wyżej, lecz także szybciej. W roku 1056, dziesięć lat przed lądowaniem Normanów w Brytanii (1066), wzniesiono w Chinach na terenie kompleksu świątynnego Fogong istniejącą do dziś pagodę o wysokości ponad 67 metrów, wspartą na słupach i związaną kilkoma tysiącami ciesielskich połączeń kłamerowych typu *dougong*, lecz każda z tych tysięcy użytych klamer reprezentowała typ precyzyjnie dobrany spośród czterdziestu czterech starannie zaprojektowanych rodzajów klamer, a wszystkie wykonano wcześniej jako prefabrykaty. Różne rodzaje klamer uwzględniał też napisany okolo 1100 roku n.e. i zachowany do dziś traktat ciesielsko-architektoniczny *Yingzao Fashi* (ryc. 2).

Później, już w czasach nowożytnych, zachodnioeuropejscy podróżnicy wielokrotnie opisywali w swych relacjach fenomen, jakim jawił im się moskiewski Skoradom, czyli targ gotowych domów drewnianych – składowanych na wielkim placu i oferowanych do natychmiastowej dostawy konnej lub rzecznej oraz szybkiego montażu. Na Zachodzie pierwsza wzmianka o nim pochodzi z wydanej w 1749 roku książki irlandzkiego podróżnika i historyka Thomasa Nugenta, lecz już wcześniej, w roku 1678, członek polskiego poselstwa do Mo-



Ryc. 2. Wybrane strony traktatu *Yingzao Fashi* z ok. 1100 roku n.e., z ilustracjami powtarzalnych prefabrykatów drewnianych

Drewniane prefabrykaty nie tylko mogą służyć w budowlach wysokościowych o konstrukcji hybrydowej, lecz przyspieszają montaż dwukrotnie w stosunku do najszybciej montowanych konstrukcji stalowych.

skwy i dworzani księcia Michała Czartoryskiego, Franciszek Tanner, wspominał o moskiewskiej dzielnicy Bietgorod, iż „tu jest targ na gotowe już domy drewniane, które się składa prędko, a szpary mchem zabija”. Targ ten funkcjonował przez dwa stulecia, aż do połowy XIX wieku. Ponoć można na nim było kupić nawet całe drewniane „gotowe wsie”, a budynki wznoszono „z szybkością niepojętą dla mieszkańców innych krajów. Przytaczano anegdotę o jednej z wizyt carycy Katarzyny II, która zamierzała zatrzymać się w pałacu księcia Golicyna, lecz przewidując trudności w pomieszczeniu tam swego fraucymeru, nakazała do pałacu dostawić drewnianą dobudówkę naprędce zamówioną na tymże targu. Nie byłoby w tym nic dziwnego, gdyby nie rozmiar „dobudówki” – kilkakrotnie większej od samego pałacu, a wzniesionej w sześć tygodni. Później została ona powtórnie rozebrana i przeniesiona na przedmieścia Moskwy już jako prywatna willa Katarzyny II.



Ryc. 3. „Szybkościowy” montaż szkieletowego domu półprefabrykowanego w ramach akcji Habitat for Humanity;  
Źródło: Wikimedia Commons ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Defense.gov\\_photo\\_essay\\_100713-A-51700-167.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Defense.gov_photo_essay_100713-A-51700-167.jpg)), fot. Nicholas Olson, 2010, domena publiczna)

### Przemysłowo wytwarzane drewniane domy szkieletowe

Gdy dobiegało końca istnienie moskiewskiego targu domów zrębowych, w krajach alpejskich zaczęto przemysłowo wytwarzać gotowe domy drewniane o konstrukcji zrębowej i szkieletowej. Publikowano wzorniki domów oraz pawilonów ogrodowych i ich zdobień. Budynki szkieletowe montowano w tartakach, by po demontażu i zapakowaniu w skrzynie wysłać je koleją – nowym wynalazkiem epoki – w dowolnie dalekie destynacje. Od 1850 roku w podberneńskim Unterseen wytwarzała je Parquet- und Chaletfabrik Interlaken, od 1855 roku – genewska firma Ody, później firma Spring Frères z Lozanny, a w roku 1873 na terenie Szwajcarii funkcjonowało już do 25 tartaków mieniących się „fabrykami parkietów i domów”.

Budynki szkieletowe montowano w tartakach, by po demontażu i zapakowaniu w skrzynie wysłać je koleją – nowym wynalazkiem epoki – w dowolnie dalekie destynacje.

Na tym tle ciekawy wydaje się polski incydent. Otóż w latach 1840–1865 Jan Nepomucen Rolbiecki, dzierżawiąc rządową ekonomię w nadbużańskim Broku, zamierzał otworzyć w niej „fabrykę gotowych budowli i wyrobów drewnianych”, planując „wyrabianie wszelkich materiałów budowlanych, tak ażeby każdego czasu fabryka była w możności przyjąć obstalunek na raz na całe wsie i folwarki i gorzałce, wszystko podług rysunku. Fabryka, kilkakrotnie opisywana w czasopiśmie branżowych, nie podjęła jednak produkcji na większą skalę.

### Amerykańskie domy katalogowe (*kit houses*)

Po I wojnie światowej także w USA zaczęła się upowszechniać produkcja składanych drewnianych domów do samodzielnego montażu, czyli *kit houses*. Podobnie jak w Szwajcarii, domy wykonywano w fabryce, demontowano i ładowano do wagonów, którymi wysyłano je do odbiorców. Wymiary elementów dostosowywano do wymiarów wagonów kolejowych, tak aby dom z całym wyposażeniem zmieścił się w jednym, a większe domy w dwóch wagonach kolejowych. Firma Sears, Roebuck and Company w latach 1908–1940 sprzedała ponad 70 000 domów reprezentujących 370 wzorców katalogowych. Ta moda zaowocowała udoskonaleniem lekkich drewnianych konstrukcji szkieletowych z drewna przetartego konfekcjonowanego, znanych dziś pod potoczną nazwą szkieletu kanadyjskiego (po raz pierwszy zastosowanego w 1832 roku w Chicago), a także opracowaniem szybkościowych metod wznoszenia budynku z uwzględnieniem nietradycyjnych technik ciesielskich i stolarskich – na przykład rezygnacji z zamków ciesielskich na rzecz połączeń gwoździowych, a następnie łączników blaszanych, takich jak płytki kolczaste (te ostatnie wynaleziono w 1952 roku). Taki budynek można na wyląnym wcześniej fundamencie zmontować w ciągu kilku dni.

*Kit houses*, domy zamawiane listownie i wysyłane pocztą, stały się elementem północnoamerykańskiej kultury masowej. Już w 1920 roku w filmie *One Week (Tydzień)*, jednym z arcydzieł światowego kina, genialnie wyśmiali je Edward F. Cline i Buster Keaton, parodiując amatorski montaż domu.

### Domy ze sklejki

Obecnie potrzeby standaryzacji oraz certyfikacji usuwają z użycia drewno przetarte konfekcjonowane na rzecz sklejek, płyt wiórowych i płyt OSB. Oferowane są prefabrykaty z materiałów drewnopochodnych, w tym wiązary kratowe, dźwigary-deskownice, gotowe moduły stropowe, podłogowe i ścienne. ▶



Ryc. 4. Montaż zrębowego domu z belek z drewna klejonego; u góry: przykładowe kształty i wymiary profili belek;  
Źródło: Wikimedia Commons ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Возведение\\_дома\\_из\\_клееного\\_бруса1.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Возведение_дома_из_клееного_бруса1.jpg), fot. S. Glazkina, 2006)



Ryc. 5. Budowa domu z gotowych modułów z drewna klejonego w Warwickshare w Wielkiej Brytanii, według konceptu WikiHouse;  
Źródło: [www.wikihouse.cc](http://www.wikihouse.cc) na licencji Creative Commons (Open Systems Lab: The DiMA Housing Manual ver. 1.1, 05.2018: s.17)

Z uwagi na szybki montaż lekkie konstrukcje szkieletowe z prefabrykatów łączonych płytkami kolczastymi, poszywane płytami OSB, stały się swego rodzaju standardem w budownictwie interwencyjnym i socjalnym (ryc. 3.).

### Domy z drewna klejonego

Od kilku lat w Skandynawii, Rosji i innych krajach z nadprodukcją drewna oferuje się domy zrębowe montowane z belek z drewna klejonego (bądź z drewna warstwowo kołkowanego DLT) z bocznym profilem pióro-wpust (ryc. 4.). W Niemczech, a sporadycznie także już w Polsce, upowszechniają się systemy szybkiego montażu ścian z podobnych elementów pionowych (np. system HBE – *Hüttemann Brettschichtholz Elemente*), niepodlegających tzw. osiadaniu.

Pojawił się też i wciąż się upowszechnia concept wznoszenia domów panelowych oraz modułowych z użyciem konstrukcji płytowo-tarczowej wykonanej z drewna masywnego krzyżowo klejonego (CLT). Całe gotowe ściany, płyty stropowo-podłogowe i bezkrowkiowe płyty dachowe wykonane z tej konstrukcji są sztywniejsze niż ich lekkie odpowiedniki (niż ściany szkieletowe, stropy żebrowe oraz dachy na krokwiach lub więzarach kratowych), toteż mogą być już w fabryce wyposażone we wszelkie instalacje i w gotowej postaci transportowane na plac budowy do błyskawicznego montażu. Wykończony i gotowy na przyjęcie mieszkańców dom powstaje na przygotowanym uprzednio fundamencie w ciągu kilku dni.

Obecnie co najmniej kilkadziesiąt przedsiębiorstw na całym świecie, w tym kilka polskich, wznosi budynki mieszkalne wielorodzinne o wysokości od 3 do 8 kondygnacji w technologii drewnianej modułowej.

Unikalną opcją są małe domy drewniane kontenerowe transportowane z fabryki na plac budowy w stanie gotowym. Oferowane są one zwłaszcza w krajach alpejskich (północne Włochy, Austria, Niemcy).

### Domy wielorodzinne modułowe

Od dwóch dekad upowszechnia się też – zwłaszcza w Skandynawii, Niemczech i Kanadzie – budownictwo wielorodzinne z drewnianych modułów wykonanych w różnych technologiach: CLT, szkieletu usztywnionego sklejką lub płytą OSB, kompozytów warstwowych drewnianych, a także w technologiach hybrydowych z dużym udziałem drewna. Obecnie co najmniej kilkadziesiąt przedsiębiorstw na całym świecie, w tym kilka polskich, wznosi budynki mieszkalne wielorodzinne o wysokości od 3 do 8 kondygnacji w technologii drewnianej modułowej. Czas montażu wynosi około 6–8 miesięcy, czasami krócej; obserwuje się stałą tendencję do skracania tego czasu.

### Dom-składak (pop-up house) i dom open-source

Ostatnie kilka lat przyniosło nowe, na razie jeszcze niszowe kierunki rozwoju szybkościowego drewnianego budownictwa modułowego. Dwa z nich są godne uwagi dlatego, że zaskakująco szybko wyszły poza ramy konceptów futurystyczno-eksperymentalnych i zaistniały na rynku budowlanym. Pierwszy to koncept drewnianego domu-składaka montowanego w ciągu kilkunastu lub nawet kilku godzin. W kilkunastu krajach kilkadziesiąt firm oferuje już takie domy. Najszybciej, w ciągu sześciu godzin, wznoszone są domy projektu arch. Renato Vidal, wytwarzane przez włoską firmę MADi.

Drugi kierunek to składane drewniane budynki do samodzielnego montażu oferowane bez rygoru praw autorskich do projektu, z możliwością udostępniania projektów poprzez portale społecznościowe. Są to między innymi koncepty „domów open-source”, „wikidomów”

i tym podobne. Jednym z ciekawszych jest WikiHouse – koncept pokazany w 2011 roku na Gwangju Design Biennale w Korei Południowej i od tamtego czasu rozwijany przez pasjonatów w kilku krajach (ryc. 5.), stanowiący zarazem platformę pośredniczącą między klientem a przedsiębiorcami gotowymi wesprzeć proces inwestycyjny. W ramach systemu WikiHouse udostępniono bibliotekę drewnianych modułów i poradnik projektowania.

DOI: 10.5604/01.3001.0013.3422

Artykuł naukowy opublikowany w ramach projektu „Wsparcie dla czasopism naukowych” dofinansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (202/WNC2019/1).

### Bibliografia

- [1] Coxe W., *Travels into Poland, Russia, Sweden et Denmark. Interspersed with historical relations and political inquiries*, t. 2, wyd. 3, T. Cadell, London 1787.
- [2] Łempicki B., *Wiadomość o fabryce budowlı drewnianych w Broku*, „Korrespondent Handlowy, Przemysłowy i Rolniczy” nr 5, 1853, s. 1.
- [3] Nugent T., *The Grand Tour, containing an exact description of the most of the cities, towns, and remarkable places of Europe...*, t. 2: *The Traveller's Guide through Germany [to Russia]*, London 1749.
- [4] Pardała W., *Drewniana architektura letniskowa okolic Łodzi w okresie międzywojennym*, maszynopis rozprawy doktorskiej, Łódź 2018.
- [5] Rolbiecki J.N., *Opis uprojektowanej fabryki wyrobów drewnianych w Broku, na prawym brzegu rzeki spławnej Buga*, „Korrespondent Handlowy, Przemysłowy i Rolniczy” nr 5, 1853, s. 1 i 2.
- [6] Rudowski A., *Kilka słów o fabryce budowlı i wyrobów drewnianych w Broku*, „Korrespondent Handlowy, Przemysłowy i Rolniczy” nr 63, 1853, s. 1-2.
- [7] Schaaf U., *Przemysłowa architektura szkieletowa dziewiętnastowiecznych przedmieść Torunia. Kilka uwag na temat jej charakterystyki, zastosowania i znaczenia*, [w:] K. Kluczwajd (red.), *Budownictwo szkieletowe w Toruniu: pruski mur – nie lubiane dziedzictwo*, Toruń 2015, s. 39-50.
- [8] Szewczyk J., *Rozważania o domu*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok 2018.
- [9] Tanner F., *Dziennik Franciszka Tannera, Czecha, dworzanina księcia Michała Czartoryskiego wojewody wołyńskiego, wielkiego posła do cara moskiewskiego, z łacińskiego*, [w:] J.U. Niemcewicz (red.): *Zbiór pamiętników historycznych o dawnej Polsce, z rękopismów, tudzież dzieł w różnych językach...*, t. 5, Drukarnia Biblioteczna, Puławy 1830.
- [10] Wace R., *Chronicle of the Norman Conquest from the Roman de Rou*, translated by Edgar Taylor, William Pickering, London 1837.

**Streszczenie.** Tytułowy zamysł szybkościowego budownictwa drewnianego ujęto w chronologicznym wywodzie, począwszy od jego początków (XI wiek n.e.) aż po najnowsze zjawiska czerpiące z postępu technologicznego. Wywód systematyzuje też podejścia do szybkościowego budownictwa drewnianego w ciągu ostatniego tysiąclecia.  
**Słowa kluczowe:** drewno; drewno klejone; architektura drewniana; drewniane budynki modułowe; budownictwo szybkościowe

**Abstract.** *New timber technologies support the recent shift towards 'quick building', which has been analyzed on wider historic background. The oldest traces of the 'quick building' idea (the 11th century CE) are presented in the article, and the latest market trends are also shown, if relevant. The historic and present-day concepts of 'quick building' with timber, are explained and classified.*

**Keywords:** timber; laminated timber; timber architecture; modular timber buildings; quick building