

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

8 2019

Tomasz Sułkowski

ODPOWIEDZIALNOŚĆ WYKONAWCY ZA WADY PROJEKTOWE – **s. 2**

Agnieszka Chowaniec

POWŁOKI Z ŻYWIC EPOKSYDOWYCH – **s. 5**

Barbara Łabuzek

POTENCJAŁ BETONU SPRĘŻONEGO – **s. 8**

Jarosław Szewczyk

DREWNO WE WSPÓŁCZESNEJ ARCHITEKTURZE

CZĘŚĆ 1. WSTĘP DO ARCHITEKTURY DREWNIANEJ – **s. 11**

MAGAZYN

**CZYTAJ
BUILDER
NA TABLECIE,
SMARTFONIE
I KOMPUPERZE**

**BUILDER
CYFROWY
FOR FREE!**

ZA DARMO!

1. NA TABLETACH I SMARTFONACH

- Pobierz bezpłatną aplikację Builder Polska z App Store lub Google Play

2. NA KOMPUPERACH

- 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

Ewaluacja
jednostek
naukowych
po nowemu



Fot. arch. prywatne

Obowiązująca od 1 października 2018 roku nowa ustawa Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, nazywana Konstytucją dla Nauki, gruntownie zmieniła zasady ewaluacji jakości działalności naukowej. Szczegółowe zasady ewaluacji ogłoszone zostały stosunkowo niedawno, bo 22 lutego 2019 roku, rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Najkrócej rzecz ujmując, po nowemu ewaluacji podlegać będzie działalność naukowa całej jednostki, którą jest uczelnia akademicka, w tych dyscyplinach naukowych, którymi się ona legitymuje. Do tej pory ewaluacji poddawana była działalność naukowa poszczególnych wydziałów uczelni. Wiemy, że najbliższa ewaluacja będzie miała miejsce w 2021 roku i obejmie lata 2017–2020. Jej wynikiem będzie przyznanie uczelni, jako całości, jednej z pięciu kategorii naukowych, mianowicie: A+, A, B+, B, C. Od uzyskanej w ewaluacji kategorii będzie zależała nie tylko wysokość przyznanej subwencji, ale przede wszystkim przysługujące kluczowe uprawnienia, gwarantujące m.in. prowadzenie szkół doktorskich i nadawanie stopni oraz tytułów naukowych. Te kluczowe uprawnienia będą przysługiwały tylko tym jednostkom, które uzyskają kategorię nie niższą niż B+. W tej sytuacji posiadanie kategorii min. B+ można utożsamić z „być albo nie być” dla uczelni.

Jednym z trzech kryteriów ewaluacji, bardzo ważnym, bo posiadającym wagę 0,5, jest poziom naukowy mierzony liczbą punktów uzyskanych za opublikowane w czasopiśmie artykuły naukowe, ale także za monografie naukowe i uzyskane patenty na wynalazki. Zatrzymajmy się na chwilę przy czasopiśmie naukowych, bo w odniesieniu do nich mamy na chwilę obecną pewną niewiedzę. Wiemy, że dorobek publikacyjny uzyskany w latach 2019 i 2020 będzie punktowany po nowemu. Na chwilę obecną (II poł. lipca) nie znamy jeszcze szczegółów odnośnie do tego, które czasopisma i jak wysoko będą punktowane. Nie budzi więc w tej sytuacji zdziwienia to, że środowisko naukowe z coraz większą niecierpliwością wyczekuje na opublikowanie przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego ostatecznych wykazów czasopism naukowych z przypisanymi do nich punktami. Można wnioskować, że w przypadku dyscypliny naukowej inżynieria lądowa i transport będą to czasopisma wybrane z ujętych obecnie w międzynarodowych bazach Scopus i Web of Science, którym na podstawie wartości wskaźników wpływu SNIP (Source Normalized Impact per Paper) i IF (Journal Impact Factor) przypisana zostanie odpowiednia punktacja: 200, 140, 100, 70, 40 albo 20. Zadanie wypracowania propozycji w tej kwestii zostało postawione przed zespołem doradczym powołanym przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Należy się spodziewać, że dla wymienionej wyżej dyscypliny liczba czasopism naukowych będzie bliska 2800 i że 3% z tej liczby będą stanowiły czasopisma 200-punktowe, około 10% 140-punktowe, około 15% 100-punktowe, po około 20% 70- i 40-punktowe oraz około 30% 20-punktowe. Do tej ostatniej grupy powinny zostać też dołączone te czasopisma polskie, które wyłonione zostały w trybie konkursowym w ramach ministerialnego projektu finansowego „Wsparcie dla czasopism naukowych”. Wśród tych czasopism jest „Builder”.

prof. dr hab. inż. Jerzy Hoła

Zakład Budownictwa Ogólnego,
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej,
Wiceprzewodniczący Rady Naukowej miesięcznika „Builder”

ODPOWIEDZIALNOŚĆ WYKONAWCY ZA WADY PROJEKTOWE

Część 2.



Tomasz Sułkowski
ORCID: 0000-0002-9460-6964
Wspólnik zarządzający,
Kancelaria Prawa Gospodarczego
GRAVIS LEGAL GROUP

Artykuł został poświęcony kwestii odpowiedzialności wykonawcy budowlanego za wady dokumentacji projektowej i możliwości jej ustanowienia przez rozszerzenie odpowiedzialności wykonawcy budowlanego.

Asumpt do podjęcia tej problematyki daje fakt, iż w umowach o roboty budowlane, zarówno w zamówieniach publicznych, jak również na rynku prywatnym, pojawia się coraz więcej klauzul zmierzających do rozszerzenia odpowiedzialności wykonawcy umowy o roboty budowlane względem zamawiającego poza granice wskazane w art. 647 § 1 kodeksu cywilnego [1] (dalej k.c.) Chodzi o takie klauzule umowne, których skutkiem miałyby być przyjęcie przez wykonawcę obowiązków, których na podstawie przepisów ustawy (k.c.) nie musi on spełniać lub wprost są ulokowane po stronie inwestora. W szczególności dotyczy to przenoszenia na wykonawcę odpowiedzialności za okoliczności dotyczące wad projektowych i ich konsekwencje, jak na przykład nieterminowe wykonanie zobowiązania. W praktyce można to zauważyć w klauzulach widocznych we wzorcach umownych, dotyczących oświadczenia wykonawcy o dokonaniu weryfikacji dokumentacji projektowej i niezgłoszeniu w związku z tym żadnych zastrzeżeń przed zawarciem umowy o roboty budowlane. Coraz częściej z takim oświadczeniem wykonawcy zamawiający wiąże skutek w postaci przyjęcia przez wykonawcę odpowiedzialności za wady projektowe niezgłoszone przed zawarciem umowy (a także za ich konsekwencje w postaci m.in. nieterminowego wykonania kontraktu i poniesienia kosztów z tym związanych). Zdarza się, że zamawiający z ww. oświadczeniem wykonawcy wiąże skutek w postaci przyjęcia przez niego odpowiedzialności za „weryfikację” dokumentacji w zakresie ewentualnych wad projektowych.

Weryfikacja dokumentacji projektowej

Mając na względzie ilość specjalizacji zawodowych, jakie są konieczne do przygoto-

wania prawidłowo wykonanego opracowania projektowego, należy stwierdzić, iż oczekiwanie od wykonawcy weryfikacji dokumentacji projektowej należy uznać za bezpodstawne ze względu na przemawiające za tym argumenty w zakresie technicznym oraz prawnym. Dokumentację wykonują w zakresie swojej staranności zawodowej podmioty specjalistyczne, w szczególności biura projektowe. Te z kolei również posługują się podmiotami profesjonalnymi, takimi jak geodeci, geolodzy, konstruktorzy, projektanci instalacji elektrycznych, gazowych, niskoprądowych i wielu innych, którzy to w ramach swoich specjalizacji mają odpowiednią wiedzę, doświadczenie i kompetencje do projektowania. W tym zakresie podmioty wykonujące dokumentację branżowe posługują się wiedzą wysoce specjalistyczną w wybranych zakresach. Podkreślenia wymaga fakt, iż zwykle wykonawca prac budowlanych nie jest specjalistą w zakresie wykonania i weryfikacji dokumentacji projektowych. Z prawnego punktu widzenia przeniesienie na wykonawcę odpowiedzialności za wady projektowe byłoby wprost niezgodne z treścią art. 647 § 1 k.c. Skoro bowiem, jak wynika z tego przepisu, inwestor przygotowuje dokumentację projektową, to należy przyjąć, iż ponosi on odpowiedzialność za prawidłowość założeń w niej przyjętych oraz skutki nienależytego wykonania tego obowiązku, jak na przykład, konieczność przerwania prac w oczekiwaniu na uzupełnienia i zmiany dokumentacji. Zachodzi zatem pytanie, czy dopuszczalne jest przeniesienie odpowiedzialności za wady dokumentacji projektowej z inwestora na wykonawcę prac budowlanych.

Z perspektywy prawa

Rozszerzenie odpowiedzialności dłużnika w relacji zobowiązaniowej jest możliwe na podstawie artykułu 473 § 1 k.c., stanowiącego, iż

dłużnik może przez umowę przyjąć odpowiedzialność za niewykonanie lub za nienależyte wykonanie zobowiązania z powodu oznaczonych okoliczności, za które na mocy ustawy odpowiedzialności nie ponosi. Mowa tutaj o dłużniku, ponieważ w umowie o roboty budowlane obie strony są względem siebie wierzycielami i dłużnikami w zakresie różnych obowiązków (co z kolei wynika z artykułu 487 § 2 k.c.). Jak wynika z ww. przepisu, rozszerzenie odpowiedzialności dotyczy może „oznaczonych” okoliczności, zatem jest możliwe, aby dłużnik przyjął na siebie odpowiedzialność za dodatkowe okoliczności pod warunkiem precyzyjnego ich wskazania w treści umowy. W tym miejscu podkreślić należy, że zakres okoliczności, za jakie może na siebie przyjąć odpowiedzialność wykonawca budowlany, doznaje różnych ograniczeń.

Dająca się zauważyć w treści poszczególnych klauzul w umowach o roboty budowlane tendencja do przenoszenia odpowiedzialności na wykonawcę budowlanego za skutki wad projektowych spotyka się ze zdecydowaną krytyką orzecznictwa. Takie stanowisko zajęła m.in. Krajowa Izba Odwoławcza, stwierdzając, że „nie podziela się poglądu, iż wykonawca dobrowolnie może przejąć wszelkie obowiązki ustawowe, spoczywające na drugiej stronie umowy, a więc i odpowiedzialność, gdyż skrajnie prowadziłoby to do zawarcia umowy jednostronnie zobowiązującej. Przepis art. 473 § 1 k.c. nie dotyczy przejęcia odpowiedzialności przez wykonawcę za projektanta i za wady opracowanej przez projektanta dokumentacji (w sytuacji, gdy projektant nie jest stroną danej umowy i działa na zlecenie zamawiającego) i z wykonawcą robót nie wiąże go żaden stosunek umowny, w oparciu o który wykonawca mógłby poszukiwać rekompensaty z tytułu przyjętej wobec inwestora odpowiedzialności za skutki wad projektu” [2].

W obliczu powyższych argumentów należałoby rozważyć, czy w ogóle można skutecznie zawrzeć w umowie klauzulę umowną dotyczącą przyjęcia odpowiedzialności wykonawcy za wady dokumentacji projektowej oraz ich skutki, podczas gdy stanowiłoby to *de facto* przejście w tym zakresie roli i ryzyka zamawiającego w jednym z kluczowych jego obowiązków. W tym celu należy przywołać treść orzeczenia Sądu Najwyższego z dnia 27 września 2013 r., w którym wskazano, iż: „rozszerzając na podstawie art. 473 § 1 k.c. odpowiedzialność dłużnika z tytułu kary umownej (art. 483 § 1 k.c.), strony muszą w umowie wyraźnie określić, za jakie inne – niż wynikające z ustawy – okoliczności dłużnik ma ponosić odpowiedzialność. Nie mogą to być okoliczności obciążające wierzyciela (art. 353 [1] k.c.)[3]”. Sąd Najwyższy w treści uzasadnienia zwrócił uwagę na fakt, iż zgodnie z art. 56 k.c., czynność prawna wywołuje nie tylko skutki w niej wyrażone, lecz również te, które wynikają z ustawy, z zasad współzycia społecznego i ustalonych zwyczajów, a w świetle art. 353 [1] k.c. swoboda umów ograniczona jest właściwościami (naturą) stosunku prawnego, przepisami ustawy oraz zasadami współzycia społecznego. Strony zatem nie mogą w umowie tak rozszerzyć odpowiedzialności dłużnika z tytułu niewykonania lub nienależytego wykonania zobowiązania ani dotyczącej kary umownej, by jej zakres był sprzeczny z istotą (naturą) odpowiedzialności dłużnika za niewykonanie zobowiązania. Wskazać należy, iż jednym z podstawowych elementów owej natury stosunku zobowiązaniowego z umowy o roboty budowlane [4] jest ulokowanie odpowiedzialności za dokumentację projektową i ewentualne skutki jej nienależytego przygotowania po stronie inwestora. Zatem przeniesienie tej odpowiedzialności na wykonawcę stanowiłoby zaprzeczenie tej zasady.

Zamawiający ponosi odpowiedzialność

W świetle powyższego nie można więc przyjąć, że dłużnik (wykonawca) będzie odpowiedzialny z tytułu nienależytego wykonania zobowiązania także wtedy, gdy niewykonanie lub nienależyte wykonanie zobowiązania jest spowodowane okolicznościami, za które odpowiedzialność ponosi wierzyciel (inwestor). Podobnie wypowiedział się Sąd Apelacyjny w Katowicach w wyroku z dnia 22 listopada 2013 r., V ACa 442/13, LEX nr 1428086. W orzeczeniu Sądu Apelacyjnego w Szczecinie z dnia 23 kwietnia 2013 r., I ACa 133/13, LEX nr 1375876 stwierdzono, iż z art. 651 k.c. nie da się wywieść obowiązku szczegółowego sprawdzania projektu przez wykonawcę i przyjęcia z tego tytułu odpowiedzialności [5].

Podobnie wypowiedział się w tej kwestii Sąd Najwyższy, stwierdzając, iż zgodnie

z art. 140 p.z.p. zakres świadczenia wykonawcy wynikający z umowy jest tożsamy z jego zobowiązaniem zawartym w ofercie, „za niedopuszczalne w szczególności należy uznać przerzucenie na wykonawcę odpowiedzialności za błędy, zaniechania i opóźnienia podjęcia decyzji bądź dostarczenia dokumentacji, wynikające z przyczyn leżących po stronie zamawiającego”[6].

Mając na względzie powyższe informacje, należy stwierdzić, iż należyte, w tym m. in. terminowe, wykonanie umowy o roboty budowlane zależy od spełnienia obowiązków zamawiającego w zakresie przygotowania dokumentacji projektowej. Stąd, gdyby dopuścić przeniesienie odpowiedzialności z tego tytułu na wykonawcę, oznaczałoby to sytuację, w której wykonawca umownie przyjmuje odpowiedzialność za konsekwencje wad i zaniechań w zakresie należytego spełnienia obowiązków przez wierzyciela [7]. Wnioski takie znajdują potwierdzenie również w orzecznictwie KIO [8].

Dodatkowo należy wskazać, iż zgodnie z art. 18 Prawa budowlanego [9] do obowiązków inwestora należy w szczególności zapewnienie opracowania projektu budowlanego. Obowiązki znajdujące się w wyżej wymienionym przepisie, jak wynika z określenia „w szczególności”, nie są jedynymi należącymi do inwestora, a tylko przykładowymi, jakie zwykle jest on zobowiązany wykonać [10]. Mając na uwadze powyższe oraz fakt, iż proces przygotowania inwestycji polega również na spełnieniu znacznej ilości bardzo szczegółowych wymagań określonych w odpowiednich przepisach, należy stwierdzić, iż dopuszczenie przenoszenia odpowiedzialności z tytułu jakości dokumentacji projektowej w pełnym zakresie na wykonawcę stanowiłoby całkowite przeniesienie odpowiedzialności z inwestora na wykonawcę, który wedle założeń ma obowiązek projekt odczytać i wykonać zgodnie z zasadami wiedzy technicznej, natomiast a nie ponosić odpowiedzialność za jego wady i konsekwencje, jakie wywołują w procesie inwestycyjnym.

Jak wskazuje Sąd Najwyższy, niedopuszczalne są klauzule umowne, wskutek których wykonawca miałby ponosić odpowiedzialność z tytułu nienależytego wykonania umowy przez wierzyciela, również w wypadku, gdy do nienależytego wykonania umowy „doprowadzili” działania lub zaniechania zamawiającego, takie jak wadliwe przygotowanie dokumentacji projektowej, za które odpowiedzialny jest zgodnie z art. 647 k.c. zamawiający, niezależnie komu zlecono opracowanie projektu. W tej relacji to zamawiający ponosi odpowiedzialność względem wykonawcy za skutki wad projektowych, natomiast jego regres do jednostki projektowania jest kwestią zupełnie odrębną.

Wykonawca prac budowlanych nie jest specjalistą w zakresie wykonania i weryfikacji dokumentacji projektowych.

Podsumowanie

Jak wynika z przytoczonych argumentów, należy stwierdzić, iż modyfikacje ustawowej odpowiedzialności wykonawcy umowy o roboty budowlane są co do zasady możliwe. Należy mieć jednak na względzie, iż niektóre klauzule umowne, stanowiące naruszenie przepisów kodeksu cywilnego, mogą zostać uznane za bezskuteczne na podstawie art. 353 [1] k.c. w przypadkach, w których treść lub cel klauzul umownych sprzeciwiałby się właściwości (naturze) stosunku prawnego lub zasadom współzycia społecznego. Podobnie może zostać oceniona klauzula wprost sprzeczna z przepisami kodeksu cywilnego, albowiem zgodnie z art. 58 k.c. czynność prawna sprzeczna z ustawą albo mająca na celu obejście ustawy jest nieważna. W związku z powyższym należy stwierdzić, iż brak jest podstaw do uznania, że oświadczenie wykonawcy, iż zapoznał się z projektem, miało skutkować przyjęciem przez niego odpowiedzialności za wady projektowe oraz ich konsekwencje, jak nienależyte wykonanie umowy np. związane z nieterminowością. Wykonawca budowlany jako dłużnik zobowiązaniowy nie może ponosić negatywnych konsekwencji nienależytego wykonania obowiązków, jakie zobowiązany jest wykonać inwestor jako wierzyciel. A zatem nie jest dopuszczalne przyjęcie przez wykonawcę budowlanego odpowiedzialności za wady projektowe, jakie ujawniły się w projekcie dostarczonej przez inwestora i ich konsekwencje, jak np. prace dodatkowe lub przerwy w postępie prac, co często bywa przyczyną nieterminowego wykonania inwestycji budowlanych.

Podobnie jest z oświadczeniem wykonawcy, że dokonał weryfikacji projektowej i przyjmuje odpowiedzialność za wszelkie skutki jej wad lub braków. Tak też przedstawia się potencjalna kara umowna, jaką bywają obciążeni wykonawcy w sytuacji, gdy do nieterminowego wykonania zobowiązania doszło na skutek modyfikacji stosunków stron i przeszkód w realizacji prac budowlanych (przestoje robót budowlanych w oczekiwaniu na zmiany i uzupełnienia dokumentacji projektowej) właśnie z uwagi na zmiany, jakie okazały się konieczne do wprowadzenia w dokumentacji projektowej. Wykonawca nie odpowiada za nienależyte wykonanie umowy, gdy u podstaw takiej sytuacji legły okoliczności, za które wykonawca odpowiedzialności nie ponosi. Niedopuszczalne jest

Nie jest dopuszczalne przyjęcie przez wykonawcę budowlanego odpowiedzialności za wady projektowe, jakie ujawniły się w projekcie dostarczonym przez inwestora i ich konsekwencje.

na gruncie umowy o roboty budowlane przenoszenie na wykonawcę odpowiedzialności za okoliczności, które stanowią obowiązek wierzyciela w zakresie przygotowania dokumentacji projektowej.

Wydaje się, iż świadome stosowanie omawianych przepisów prawa w praktyce budowlanej może doprowadzić do zmniejszenia ilości sporów na rynku budowlanym oraz zwiększenia ilości terminowo ukończonych inwestycji budowlanych.

DOI: 10.5604/01.3001.0013.2850

Przypisy:

1. Ustawa z dnia 23.04.1964 r. – Kodeks cywilny, Dz.U.2018.1025 t.j. z dnia 2018.05.29.
2. Zob. wyrok Krajowej Izby Odwoławczej z dnia 2 marca 2010 r., KIO/UZP 184/10, LEX nr 653595.
3. Zob. tezę i uzasadnienie wyroku Sądu Najwyższego z dnia 27 września 2013 r., I CSK 748/12, OSNC 2014/6/67.
4. W umowach realizowanych w trybie „wybuduj”, gdzie projekt dostarcza inwestor.
5. Wyrok Sądu Apelacyjnego w Rzeszowie z dnia 20 grudnia 2012 r., I ACa 410/12, LEX nr 1254482, z tezą: „Brak jest też podstaw, by zakładać, że powód winien był zauważyć braki dokumentacji polegające na nieokreśleniu właściwej wysokości osadzenia parapetów, a następnie uwzględnić z pozwanym inwestorem rozwiązanie tego zagadnienia”.
6. Wyrok Sądu Najwyższego z dnia 17 czerwca 2016 r., sygn. akt IV CSK 674/15, LEX nr 2093753.7.
7. Wyrok Sądu Najwyższego z dnia 27 września 2013 r., I CSK 748/12, OSNC 2014/6/67.
8. Zob. tezę nr 6 w Wyroku Krajowej Izby Odwoławczej z dnia 2 marca 2010 r., KIO/UZP 184/10, LEX nr 653595.
9. Ustawa Prawo Budowlane 7 lipca 1994 r. (Dz.U.2018.1202 t.j. z dnia 2018.06.22)
10. Plucińska-Filipowicz Alicja, Buliński Kamil i Filipowicz Tomasz. Art. 18. W: Prawo budowlane. Komentarz, wyd. III [online]. Wolters Kluwer Polska, 2019-01-27 04:06 [dostęp: 2019-03-04 18:54].

Streszczenie: Niedopuszczalne jest przeniesienie odpowiedzialności za konsekwencje wad projektowych z inwestora na wykonawcę. Nie można przyjąć, że wykonawca, na gruncie

umowy o roboty budowlane, przyjmuje na siebie odpowiedzialność za konsekwencje nienależytego wykonania obowiązków, jakie zobowiązany jest spełnić inwestor. Nie ponosi on też odpowiedzialności za konsekwencje wad dokumentacji projektowej.

Słowa kluczowe: klauzule umowne, dokumentacja projektowa, umowa o roboty budowlane

Abstract: CONTRACTUAL CLAUSES TRANSFERRING RESPONSIBILITY FOR PROJECT DEFECTS TO THE CONTRACTOR OF BUILDING WORKS

It is unacceptable to transfer responsibility for the consequences of design flaws from the investor to the contractor. It can not be assumed that the contractor, on the basis of a construction contract, assumes responsibility for the consequences of improper performance of obligations that the investor must meet. The Contractor is not responsible for the consequences of defects in the project documentation.

Keywords: contractual clauses, project documentation, contract for construction works

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.



**mgr inż.
Agnieszka Chowaniec**
ORCID – 0000-0003-4833-044X
Wydział Budownictwa
Lądowego i Wodnego,
Politechnika Wrocławska



**Opiekun naukowy:
dr hab. inż.
Łukasz Sadowski**
prof. PWR
Politechnika Wrocławska

POWŁOKI Z ŻYWIC EPOKSYDOWYCH

W artykule przedstawione zostały wyniki badań powłok z żywic epoksydowych modyfikowanych dodatkiem odpadowej mączki szklanej. Na podstawie przeprowadzonych badań uzyskano wymagane parametry powłoki z żywicy epoksydowej bez konieczności mechanicznego przygotowania podkładu cementowego i bez zastosowania środka szepnego.

Jednym z popularnych sposobów wykończenia posadzek przemysłowych jest zastosowanie powłoki z żywicy epoksydowych. Można ją stosować w strefach o średnich i dużych obciążeniach mechanicznych. Po utwardzeniu żywicy otrzymuje się warstwę odporną na działanie paliw, środków smarujących, olei mineralnych, rozcieńczonych kwasów oraz ługów, wody morskiej i ścieków. Powłoka ta daje możliwość pigmentowania oraz uzyskania zarówno gładkiej, jak i antypoślizgowej powierzchni.

Aby powłoka z żywicy epoksydowej uzyskała deklarowaną przez producenta wartość wytrzymałości przy odrywaniu, podkład cementowy musi zostać odpowiednio przygotowany [1, 2, 3]. Zalecany wstępnym zabiegiem technologicznym jest wykonanie obróbki strumieniowej w postaci np. piaskowania lub śrutowania, dokładne oczyszczenie i odkurzenie powierzchni oraz naniesienie środka szepnego.

Cel i opis badań

Celem przeprowadzonych badań było stwierdzenie, czy możliwe jest uzyskanie wymaganych parametrów powłoki z żywicy epoksydowej bez mechanicznego przygotowania podkładu cementowego i naniesienia środka szepnego. Pozwoliłoby to ograniczyć koszty i pracochłonność, a także ryzyko popełnienia błędu. Jako dodatek zastosowano mączkę szklaną, będącą materiałem odpadowym z produkcji mikrokulek szklanych. Celem analizy było również ustalenie opty-

malnej proporcji pomiędzy materiałem bazowym a dodatkiem mączki szklanej.

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem powłoki z żywicy epoksydowej, składającej się z dwóch komponentów: A i B, mieszanych w proporcjach wagowych: komponent A : komponent B = 100 : 25.

Dodatek stanowiła odpadowa mączka szklana pochodząca z produkcji mikrokulek szklanych. Mączka szklana jest materiałem szeroko stosowanym w produkcji przemysłowej. Wykorzystywana jest m.in. jako topnik, spulchniacz oraz jako bardzo dobry wypełniacz, np. dla materiałów ceramicznych. Skład chemiczny oraz drobne uziarnienie mączki szklanej sprawia, że jest ona potencjalnym materiałem mogącym poprawić właściwości mechaniczne i estetyczne powłok z żywicy epoksydowej.

Przygotowano 11 podkładów cementowych o wymiarach około 200 x 300 mm. Literą R oznaczono próbkę kontrolną (tab. 1.), która została pokryta powłoką z żywicy epoksydowej bez dodatku mączki szklanej, a liczby od 10 do 100 oznaczają proporcje wagowe zawartości mączki szklanej X w stosunku wagowym do komponentów powłoki (A : B : X).

Jedyną czynnością przygotowującą powierzchnie próbek było usunięcie z nich luźnych i kruchych fragmentów podkładu cementowego. Nie wykonano obróbki mechanicznej.

Do bazy A dodawano utwardzacz B i dokładnie mieszano oba składniki aż do uzyskania jednolitej substancji. Następnie do-

dawano ustaloną ilość mączki szklanej i ponownie mieszano do chwili osiągnięcia jednorodnej masy.

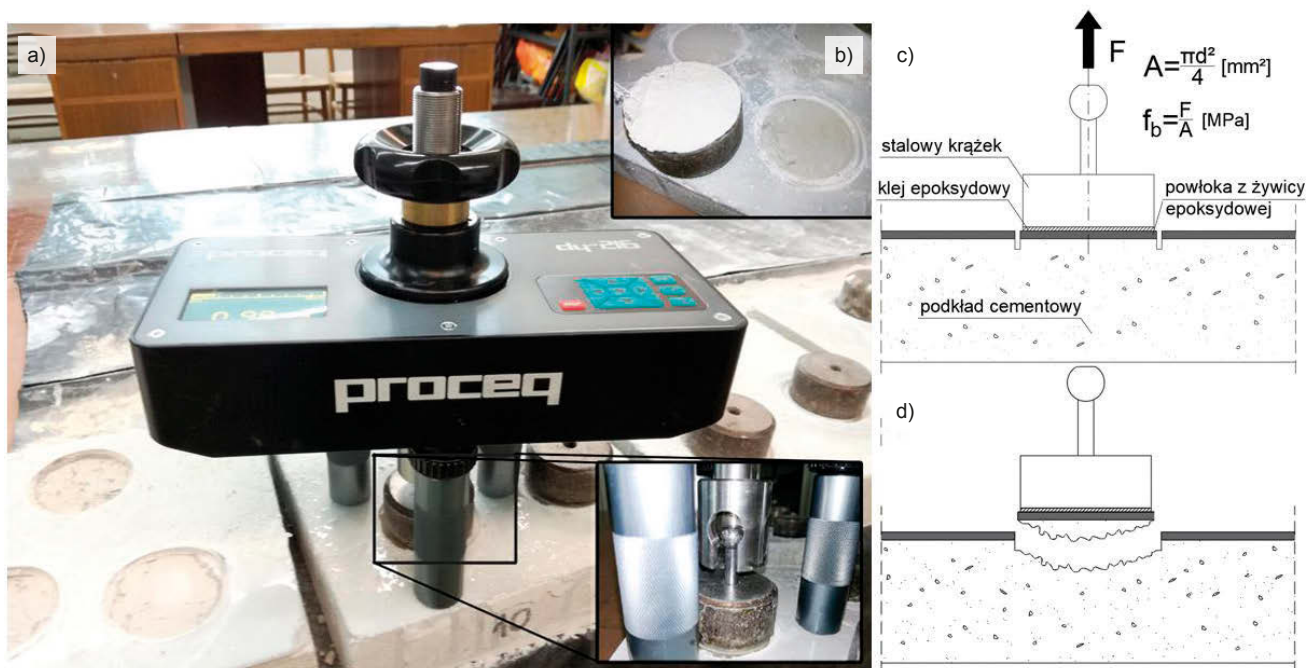
Gotową mieszaninę rozprowadzano na powierzchni podkładów cementowych przy pomocy pacy ząbkowanej, a następnie powłokę odpowietrzano przy użyciu wałka malarskiego. Obie czynności wykonywano ruchami na krzyż. Aplikacja i utwardzanie powłoki z żywicy epoksydowej odbywały się w temperaturze pokojowej. Środek do wykonania powłoki został zgłoszony do ochrony patentowej [4].

Badania wytrzymałościowe

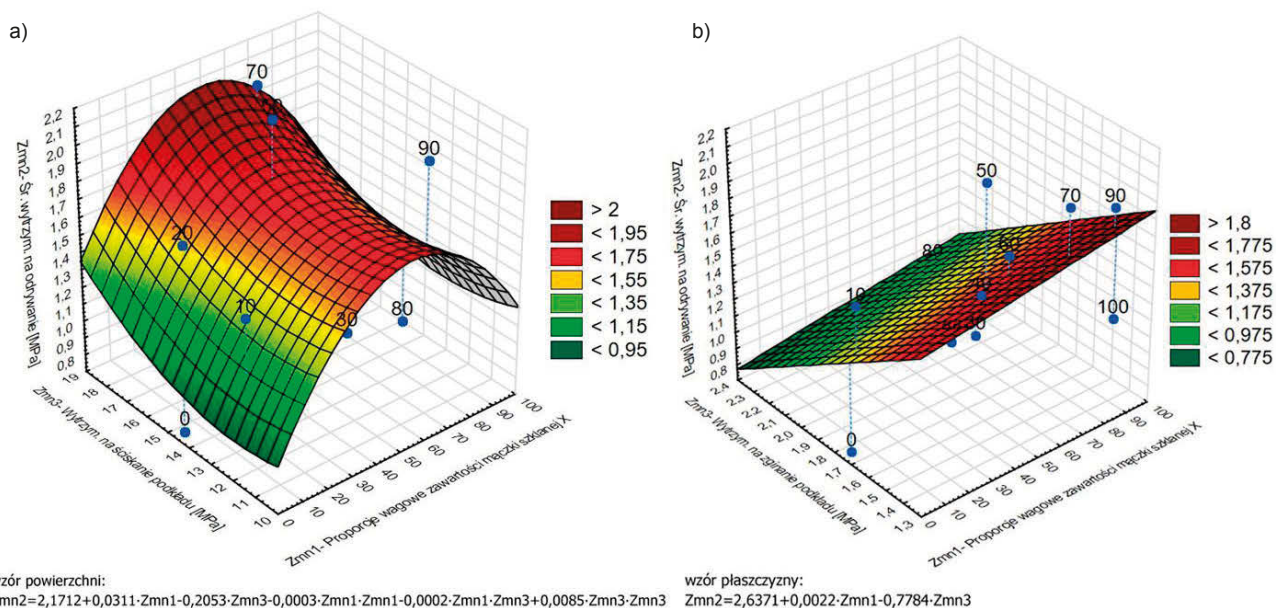
Pomiary wytrzymałościowe wykonano po 7 dniach, czyli po uzyskaniu pełnej obciążalności mechanicznej dla powłoki z żywicy epoksydowej. Badanie wytrzymałości przy odrywaniu powłoki z żywicy epoksydowej do podkładu cementowego wykonano metodą odrywania, w trzech punktach dla każdej próbki (rys. 1.).

W tabeli 1. zestawiono uzyskane pojedyncze wyniki oraz wartości średniej wytrzymałości przy odrywaniu dla poszczególnych podkładów cementowych. Dla próbki kontrolnej R w dwóch z trzech miejsc pomiarowych uzyskano pojedynczy wynik poniżej 1,0 MPa, a średnia wartość wytrzymałości przy odrywaniu wyniosła zaledwie 0,78 MPa. Dla próbki 10 wartość średniej wytrzymałości przy odrywaniu wyniosła 1,51 MPa. Dla pozostałych podkładów cementowych, z wyjątkiem 80 i 100, uzyskano wartości zbliżone lub większe. Największą średnią wy-





Rys. 1. a, c) Widok stanowiska do badań metodą odrywania, b, d) stalowy krążek po oderwaniu



Rys. 2. Wykres zależności średniej wytrzymałości przy odrywaniu od zawartości mączki szklanej i od wytrzymałości podkładu cementowego na: a) ściskanie, b) zginanie (rysunki autorów)

trzymałość przy odrywaniu o wartości 2,11 MPa otrzymano dla próbki 50. Współczynnik zmienności dla uzyskanych wyników wynosi od 0,13 aż do 0,63. Duże wartości współczynnika zmienności są najprawdopodobniej spowodowane położeniem krążków pomiarowych w mniejszej lub większej odległości od krawędzi próbki. W przyszłości należałoby wykonać badania na próbkach o dużo większych wymiarach.

Wyniki badań przedstawiono na rysunku 2. w postaci wykresów funkcji trzech zmiennych. Wartość wytrzymałości przy odrywaniu zależy głównie od wytrzymałości podkładu

cementowego na zginanie i w mniejszym stopniu od wytrzymałości podkładu na ściskanie (rys. 2.). Na rysunku 2a) zauważalny jest wzrost wytrzymałości przy odrywaniu wraz ze wzrostem zawartości mączki szklanej dla próbek od 10 do 70.

Obserwacje

W trakcie prowadzenia badań zaobserwowano, że wraz ze wzrostem ilości dodawanej mączki szklanej należało wydłużyć czas mieszania oraz zwiększyć jego staranność w celu uzyskania jednolitej masy. Większa ilość mączki powodowała wzrost gęstości miesza-

nia, a tym samym wzrost siły potrzebnej do mieszania, szczególnie w przypadku próbek 80, 90 i 100.

Wzrost zawartości mączki szklanej skutkował zmniejszeniem zdolności do samopoziomowania się powłoki z żywicy epoksydowej. Dla próbek od 10 do 40 żywica nadal bardzo dobrze rozprowadzała się po powierzchni podkładu cementowego i ulegała samopoziomowaniu. Natomiast przy kolejnych próbkach następowało stopniowe zwiększenie nierówności powierzchni. Równe pokrycie podkładów cementowych powłoką oznaczoną 80, 90 i 100 było niewykonalne.

Tabela 1. Zestawienie uzyskanych wyników badań

Oznaczenie podkładu	Wytrzymałość na ściskanie podkładu cementowego (MPa)	Wytrzymałość na zginanie podkładu cementowego (MPa)	X zawartość mączki szklanej	Pojedynczy wynik wytrzymałości przy odrywaniu (MPa)			Średnia wartość wytrzymałości przy odrywaniu (MPa)	Odchylenie standardowe (MPa)	Współczynnik Zmienności (-)
				0,84	0,51	1,00			
I 47	14,2	1,7	R-0	0,84	0,51	1,00	0,78	0,25	0,32
I 50	12,5	1,8	10	1,89	1,41	1,23	1,51	0,34	0,23
I 53	16,5	1,4	20	1,06	2,11	1,39	1,52	0,54	0,36
I 54	10,3	1,4	30	1,27	1,36	1,84	1,50	0,31	0,21
I 24/1	14,0	1,5	40	2,02	1,03	1,72	1,59	0,51	0,32
I 34/3	15,7	1,6	50	2,58	1,97	1,79	2,11	0,41	0,19
I 52	16,3	1,6	60	1,87	1,32	1,69	1,63	0,28	0,17
I 34/2	18,6	1,4	70	2,19	1,69	2,05	1,98	0,26	0,13
II 143/1	13,0	2,3	80	0,48	1,70	0,83	1,00	0,63	0,63
I 35	13,0	1,4	90	2,03	1,55	1,99	1,86	0,27	0,15
I 026	16,1	1,5	100	0,85	1,30	1,06	1,07	0,23	0,21

Podczas badania wytrzymałości przy odrywaniu powłoki z żywicy epoksydowej do podkładu cementowego metodą odrywania oderwanie krążka pomiarowego następowo najczęściej na styku powłoki z podkładem, ewentualnie częściowo lub całkowicie na niewielkiej głębokości w podkładzie cementowym (rys. 1.).

Wnioski

Według zaleceń producenta średnia wytrzymałość przy odrywaniu żywicy epoksydowej, badana metodą odrywania, powinna wynosić min. 1,5 MPa. Natomiast pojedyncze wyniki powinny być nie mniejsze niż 1,0 MPa.

Dla próbki kontrolnej R brak wyszlifowania powierzchni uniemożliwił uzyskanie wyników zgodnych z wymaganiami. Dodatek mączki szklanej znacząco poprawił wytrzymałość przy odrywaniu powłoki z żywicy epoksydowej w prawie wszystkich przypadkach i pozwolił uzyskać wymagane wartości wytrzymałości przy odrywaniu. Poprawę zaobserwowano już w próbce z najmniejszą ilością dodatku.

W artykule [5] zaprezentowano rezultaty podobnych badań sprawdzających wartość wytrzymałości przy odrywaniu pomiędzy podkładem cementowym a powłoką z żywicy epoksydowej modyfikowaną krzemionką, ale w postaci nanoprozszku. Dodatek nanokrzemionki również pozytywnie oddziaływał na wytrzymałość przy odrywaniu powłoki z żywicy epoksydowej.

Przeprowadzone badania potwierdziły, że mączka szklana korzystnie wpływa na wartość wytrzymałości przy odrywaniu pomiędzy powłoką z żywicy epoksydowej a pod-

kładem cementowym. Dodanie mączki szklanej umożliwia uzyskanie wymaganych parametrów wytrzymałościowych bez wcześniejszego szlifowania powierzchni podkładu cementowego, a więc może być alternatywą dla mechanicznego przygotowania powierzchni.

Na podstawie uzyskanych wyników i obserwacji ustalono, że optymalną proporcją wagową pomiędzy składnikami powłoki z żywicy epoksydowej A i B a zawartością mączki szklanej X jest (A : B : X = 100 : 25 : 40). Większa zawartość dodatku powoduje powstawanie niewielkich nierówności na powierzchni powłoki z żywicy epoksydowej oraz zwiększa jej lepkość, co utrudnia wnikanie powłoki w pory podkładu i tym samym zmniejsza pozytywny wpływ na jej wytrzymałość przy odrywaniu. ■

DOI: 10.5604/01.3001.0013.2852

Bibliografia

- [1] Sadowski Ł. (2017), Multi-Scale Evaluation of the Interphase Zone between the Overlay and Concrete Substrate: Methods and Descriptors, "Applied Sciences", 7(9), 893.
- [2] Chmielewska B.G., Czarnecki L.E. (2012), Wymagania norm dotyczące posadzek przemysłowych. „Materiały Budowlane”, (2). 5-9.
- [3] Krzywiński K., Sadowski Ł. (2019), The effect of texturing of the surface of concrete substrate on the pull-off strength of epoxy resin coating, "Coatings", 9(2), 143.
- [4] Sadowski Ł., Chowaniec A., Środek do wykonywania powłok na bazie żywicy epoksydowej oraz jego zastosowanie. Zgłoszenie patentowe nr PL.425183 z dnia 11.04.2018.
- [5] Chowaniec, A. (2018), W kierunku modyfikacji posadzek żywicznych nanododatkiem. Nowoczesne hale, (2).

Streszczenie: W artykule przedstawione zostały wyniki badań powłok z żywicy epoksydowych modyfikowanych dodatkiem odpadowej mączki szklanej. Na podstawie przeprowadzonych badań uzyskano wymagane parametry powłoki z żywicy epoksydowej bez konieczności mechanicznego przygotowania podkładu cementowego i bez zastosowania środka szepnego. Zdaniem autorki jest to możliwe dzięki dodaniu mączki szklanej będącej materiałem odpadowym z produkcji mikrokulek szklanych. Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono optymalną proporcję pomiędzy żywicą epoksydową a dodatkiem odpadowej mączki szklanej.

Słowa kluczowe: powłoka z żywicy epoksydowej, mączka szklana

Abstract: EPOXY RESIN COATINGS WITH THE ADDITION OF WASTE GLASS POWDER

The paper presents the results of investigations of coatings made of epoxy resins modified with the addition of waste glass powder. On the basis of the conducted tests, the required parameters of the epoxy resin coating were obtained without the mechanical treatment of the cement substrate and without the use of a bonding agent. According to the author, this is possible due to the addition of glass powder, which is a waste material from the production of glass microspheres. On the basis of the conducted tests, the optimal ratio between the epoxy resin and the addition of waste glass powder was found.

Keywords: epoxy resin coating, glass powder

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.



Barbara Łabuzek
ORCID – 0000-0001-5007-3986
Wydział Inżynierii Lądowej
Politechnika Krakowska



Opiekun naukowy:
dr inż. Rafał Szydłowski
Instytut Materiałów
i Konstrukcji Budowlanych,
Politechnika Krakowska

Kablobeton w budownictwie kubaturowym w Polsce jest rozwiązaniem stosunkowo młodym. Pierwsze kablobetonowe stropy zrealizowano dopiero w obecnym stuleciu, a za przełomowy uznaje się rok 2002, kiedy stworzono pierwsze stropy płytowe sprężone kablami płaskimi [1]. Od tego czasu nieustannie poszukuje się nowszych i doskonalszych form stropów sprężonych w budynkach, w wersji kablobetonowej [2,3], ale także prefabrykowanej [4]. Warto nadmienić, iż podjęto również badania zmierzające do zastosowania do płyt kablobetonowych lekkiego betonu kruszywowego [5].

Konstrukcja Pawilonu Muzycznego w Muszynie

Jednym z przykładów rozwiązań stropów kablobetonowych opracowanym w ostatnim czasie jest konstrukcja Pawilonu Muzycznego realizowana w ramach projektu zagospodarowania terenu Nad Popradem w Muszynie. Opracowane rozwiązania konstrukcyjne, a w szczególności zaprojektowane elementy sprężone – belka i strop – pozwoliły na zrealizowanie przyjętej koncepcji architektonicznej kładącej nacisk na zachowanie jedności konstrukcji z istniejącym otoczeniem.

Jednokondygnacyjny Pawilon Muzyczny zaprojektowano na planie koła o średnicy 19,40 m i całkowitej wysokości 4,40 m. Obiekt posadowiono na płycie żelbetowej, a jego konstrukcję nośną stanowią żelbetowe ściany zewnętrzne oraz wewnętrzne, na których wsparto przykrywający obiekt stropodach. Wizję i oczekiwania względem fi-

POTENCJAŁ BETONU SPRĘŻONEGO

Nietypowe formy architektoniczne wymuszają na konstruktorach poszukiwania nowatorskich i jednocześnie coraz bardziej śmiałych rozwiązań. Przykładem jest zastosowanie cięgien sprężonych bez przyczepności w projekcie Pawilonu Muzycznego w Muszynie.

nalnego projektu pokazano na wizualizacji zamieszczonej na rysunku 1. Głównym celem i założeniem przyjętym na etapie projektowym jest odzwierciedlenie jedności konstrukcji z otoczeniem. Efekt ten uzyskano poprzez częściowe obsypanie budynku gruntem, a częściowe pozostawienie konstrukcji przeszklonej, ograniczając tym samym możliwość stosowania podpór w części przeszklonej. Przeszklenie zaprojektowane na niemal 1/3 obwodu wymusiło skonstruowanie belki obwodowej o kącie opasania 140 stopni i rozpiętości 16,1 m. Rzut oraz przekrój obiektu wraz z opisem głównych elementów konstrukcyjnych pokazano na rysunku 2.

Stropodach sprężony

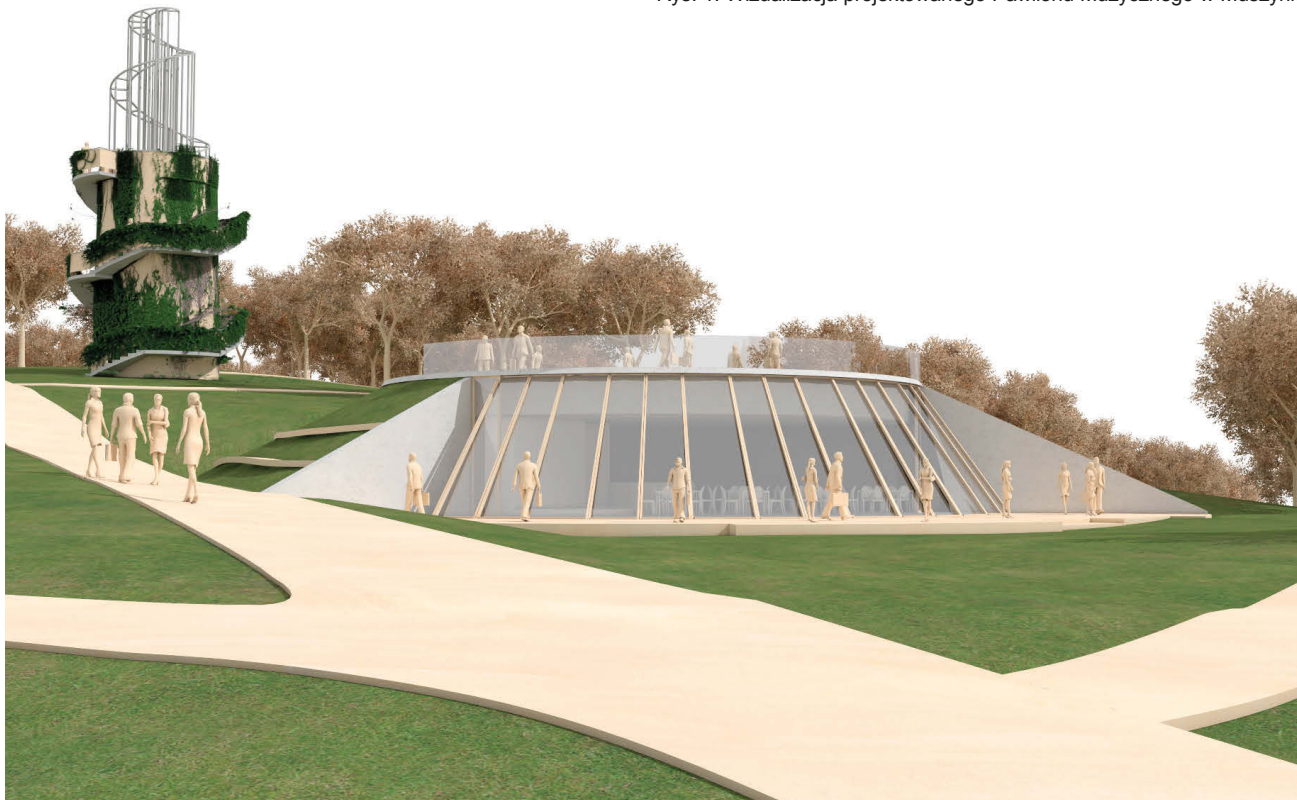
Przewidywane obciążenia w postaci dachu zielonego z dostępem dla użytkowników, projektowany układ podpór oraz wynikające z niego znaczne rozpiętości sięgające do 9,40 m spowodowały, że najlepiej uzasadnionym konstrukcyjnie i jednocześnie ekonomicznie rozwiązaniem było zaprojektowanie stropodachu z betonu sprężonego. W płycie o grubości 250 mm rozplanowano cztery wiązki cięgien bez przyczepności, w których rozmieszczono cięgna w rozstawach 200 i 300 mm. Sumarycznie przyjęto 44 sploty bez przyczepności o maksymalnym zwisie 125 mm, ze stali Y1860. Plan rozmieszczenia oraz szczegół zakotwienia cięgien pokazano na rysunku 3. Geometria stropu oraz układ podpór jako kluczowe czynniki wpłynęły na rozmieszczenie splotów w planie. Na rysunku 3a pokazano, że jedna z czterech wiązek, o rozstawie splotów co 200 mm, przebiega po cięciu konstrukcji i jest zakotwiona w belce krawędziowej oraz w ścianie zewnętrznej. Rysunek 3b pokazuje, że dwie kolejne wiązki o rozstawach splotów 200 i 300 mm podobnie są cięgniemy prostymi w planie, jednak ze względu na niekorzystny wpływ tak dużej liczby splotów w obszarze wydzielonym ścianami wewnętrznymi nie zostały przeciągnięte do ścian zewnętrznych. Stąd jednostronnie są kotwione w belce i ścianie zewnętrznej, natomiast drugi koniec cięgien zakotwiono za żelbetowymi ścianami wewnętrznymi w odległościach 1,0 i 1,5 m. Duże zagęszczenie splotów w okolicy przecięcia osi A i B zde-

KOMENTARZ

prof. dr hab. inż.
Kazimierz Flaga
Politechnika Krakowska

Artykuł dotyczy bardzo ciekawego zastosowania w praktyce cięgien sprężonych bez przyczepności w projekcie i realizacji Pawilonu Muzycznego w Muszynie nad Popradem. Dodatkowo autor wsparł pracę szczegółowymi obliczeniami z wykorzystaniem MES, z podaniem ugięć sprężystych belki krawędziowej i płyty stropu od charakterystycznej kombinacji obciążeń oraz od sprężenia.

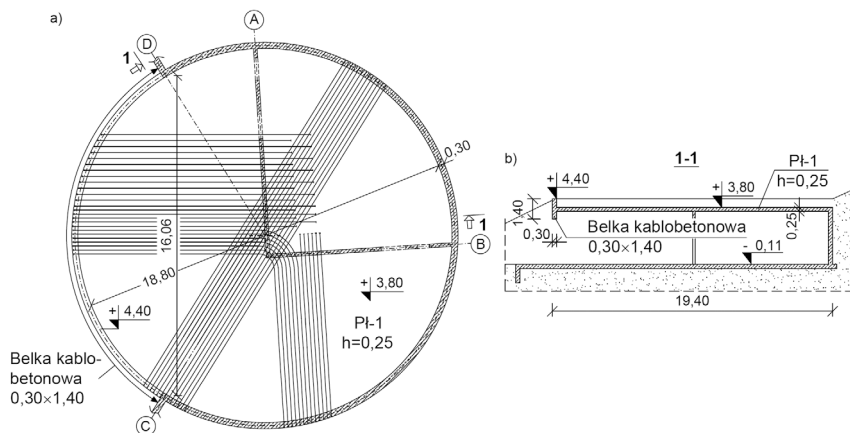
Rys. 1. Wizualizacja projektowanego Pawilonu Muzycznego w Muszynie



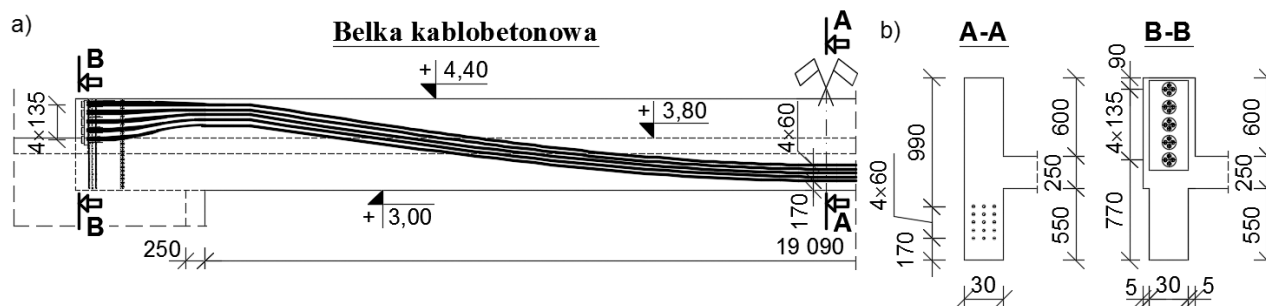
terminowało zastosowanie części cięgien o trasie zakrzywionej w planie. Jak pokazuje opracowany i zrealizowany w latach 2012–2013 projekt Małopolskiego Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego w Krakowie [3], stosowanie zakrzywionych w planie cięgien bez przyczepności nie powoduje nadmiernych spadków siły sprężającej, co pozwala z powodzeniem aplikować przyjęte rozwiązanie.

Belka sprężona

Belkę krawędziową o rozpiętości 19,09 m (rys. 2 i 3.) zaprojektowano o przekroju 0,30 x 1,40 m. Jednak, ze względu na rozwiązanie strefy zakotwienia przyjęte przez wykonawcę, konieczne okazało się poszerzenie jej końców. Ostatecznie przekrój w strefach zakotwień zwiększono o 100 mm, tworząc strefę przejściową długości 1,0 m. Na



Rys. 2. Rzut (a) i przekrój (b) przez budynek Pawilonu Muzycznego



Rys. 3. Przekrój podłużny (a) oraz przekroje poprzeczne (b) obwodowej belki kablobetonowej

podstawie przeprowadzonej analizy obliczeniowej do sprężenia belki zastosowano 15 splotów bez przyczepności $7\phi 5$ mm ze stali Y1860 i założonym maksymalnym zwisie 730 mm. Ponadto zastosowano minimalne zbrojenie zwykle dołem i górą w postaci 4 prętów $\phi 16$ mm. Ze względu na skręcanie belki wywołane jednostronnym obciążeniem płytą oraz sprężeniem przyjęto zbrojenie podłużne przy powierzchniach bocznych belki w postaci prętów $\phi 16$ mm co 180 mm oraz strzemiona z pręta $\phi 10$ mm w rozstawie 150 mm. Poszerzoną strefę zakotwienia, trasę splotów oraz zbrojenie belki pokazano na rysunku 4.

Analiza obliczeniowa

Model fizyczny konstrukcji zbudowano, wykorzystując elementy prętowe oraz powłokowe o parametrach geometrycznych i materiałowych zgodnych z przyjętymi w projekcie. W modelu przyjęto dodatkowe obciążenie stałe warstwami stropodachu zielonego o wartości $2,60 \text{ kN/m}^2$, obciążenie użytkowe $2,00 \text{ kN/m}^2$, obciążenie śniegiem $1,70 \text{ kN/m}^2$ oraz obciążenia zastępcze wywołane przyłożonym sprężeniem do belki (obciążenie pionowe oraz poziome radialne) i płyty (obciążenia pionowe, poziome oraz momenty na krawędziach) z uwzględnieniem strat doraźnych na poziomie 6% dla belki i 10% dla płyty oraz opóźnionych na poziomie 10%.

W wyniku przyłożonych obciążeń stałych uzyskano ugięcie sprężyste belki równe $-52,2 \text{ mm}$, natomiast wygięcie od sprężenia (z uwzględnieniem wszystkich strat sprężających) $+63,5 \text{ mm}$. Ostatecznie, po uwzględnieniu wszystkich obciążeń, w tym 50% obciążeń zmiennych (śnieg i użytkowe), otrzymano wygięcie sprężyste belki równe $+0,7 \text{ mm}$, natomiast ugięcie płyty równe $-6,4 \text{ mm}$.

Na rysunku 4. zamieszczono wykresy wybranych wartości sił wewnętrznych w belce. Rysunek 4a pokazuje wykres momentów zginających od obciążeń stałych. Łatwo zauważyć, że uzyskana wartość momentu

równa $1118,3 \text{ kNm}$ jest dominująca i stanowi niemal 3-krotność momentu zginającego od obciążeń użytkowych i śniegu ($375,7 \text{ kNm}$, rys. 7b), a co za tym idzie – w znacznym stopniu determinuje ugięcia końcowe, stąd pojawił się pomysł na zastosowanie w konstrukcjach kablobetonowych lekkiego betonu kruszywowego [8]. Na rysunkach 4c i 4d pokazano wartości momentów zginających (rys. 4c) oraz podłużnych sił ściskających (rys. 4d) wywołanych sprężeniem przyłożonym do belki ($963,0 \text{ kNm}$) oraz podłużnych sił ściskających od wszystkich splotów przyłożonych do belki i płyty. Wartości wynoszą odpowiednio $963,0 \text{ kNm}$ i $832,2 \text{ kN}$. Interesującym wnioskiem wynikającym z wykresu 4d jest to, że większość siły sprężającej została przejęta przez płytę, nie przez belkę. Świadczy o tym fakt, że wprowadzając w belkę siłę o wartości 2772 kN (15 splotów, naciąg 220 kN , straty całkowite 16%), uzyskano w odpowiedzi w belce siłę podłużną tylko $832,2 \text{ kN}$.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono przypadek ciekawego wykorzystania kablobetonu z cięgnami bez przyczepności w konstrukcji budynku na planie koła. Nieregularny układ płyty wynikający z kolistego kształtu budynku oraz układu podpór wewnętrznych wymusił zaprojektowanie skomplikowanego układu sprężenia o niestandardowym rozplanowaniu cięgien. Pozwoliło na to użycie lekkich cięgien bez przyczepności o małych promieniach zakrzywienia i niewielkich średnicach, które w powodzeniem można stosować dla cięgien o zakrzywionej w planie trasie, jak pokazały doświadczenia z poprzednich realizacji. Szczegółowe podejście do problemu na etapie projektowania pozwoliło uniknąć kolizji cięgien, jednak należy pamiętać, że nie wszystkie problemy można rozwiązać na etapie projektowania, co widać na przykładzie rozwiązania strefy zakotwienia w belce sprężonej, dlatego powstałe wątpliwości zostały rozwiązane w trakcie przygotowania do budowy. ■

Bibliografia

- [1] Piekarski J. 1994-2004. 10 konstruktywnych lat, BBR Polska, „Inżynieria i Budownictwo”, s. 175–176, 4/2014.
- [2] Szydłowski R., Łabuzek B., Post-Tensioned Concrete Long-Span Slabs in Projects of Modern Building Construction, „IOP Conference Series: Material Science and Engineering”, 245 (2017) 022065.
- [3] Szydłowski R., Łabuzek B., Współczesne rozwiązania kablobetonowych konstrukcji sprężonych, wykład na XXXIII Ogólnopolskich Warsztatach Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk, 6–9 marca 2018, tom II – wykład, s. 317–388.
- [4] Derkowski W., Skalski P., New Concept of Slimfloor with Prestressed Composite Beams, „Procedia Engineering, Elsevier”, Vol. 193 (2017), s. 176–183.
- [5] Szydłowski R., Mieszczak M., Study of application of lightweight aggregate concrete to construct post-tensioned long-span slabs, 12th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques, 26–27 May 2016, „Vilnius, Lithuania and Procedia Engineering, Elsevier”, Vol. 172 (2017), s. 1077–1085.

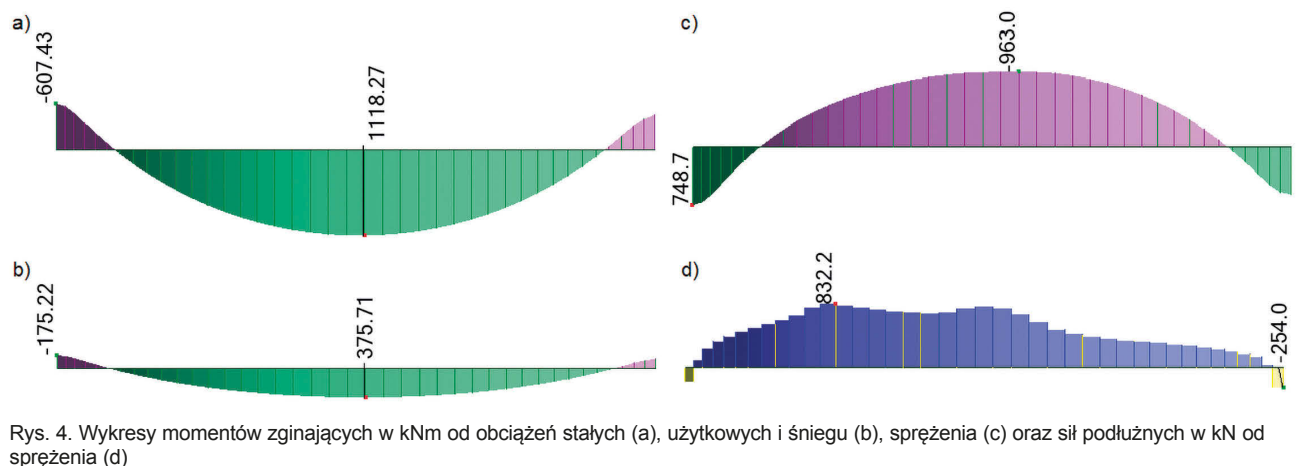
Streszczenie: W artykule przedstawiono przypadek ciekawego wykorzystania kablobetonu z cięgnami bez przyczepności w konstrukcji Pawilonu Muzycznego w Muszynie. Opracowane rozwiązania konstrukcyjne, a w szczególności zaprojektowane elementy sprężone – belka i strop – pozwoliły na realizowanie przyjętej koncepcji architektonicznej kładącej nacisk na zachowanie jakości konstrukcji z istniejącym otoczeniem.

Słowa kluczowe: cięgna bez przyczepności, belka sprężona, płyta sprężona

Abstract: THE USAGE OF PRESTRESSED CONCRETE IN THE PROJECT OF THE MUSIC PAVILION IN MUSZYNA

The work presents a description of the proposed solutions, assumptions along with the results of static and strength analysis and relevant applications. The design of The Music Pavilion in Muszyna is an example of the innovative application of construction elements made in the cable-concrete technology.

Key words: post-tensioned beam, post-tensioned slab, unbonded tendon

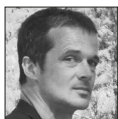


Rys. 4. Wykresy momentów zginających w kNm od obciążeń stałych (a), użytkowych i śniegu (b), sprężenia (c) oraz sił podłużnych w kN od sprężenia (d)



Drewno we współczesnej architekturze

Część 1. Wstęp do architektury drewnianej



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

Przyzwyczajeni do antyczo-rzymskiego dziedzictwa oraz zachodnioeuropejskiej perspektywy, kojarzących architekturę z trwałością kamienia i cegły, ze zdziwieniem odkrywamy, że najszybciej wznoszone, najbardziej skomplikowane, a także jedne z największych oraz najwyższych budowli dawnych epok i kultur powstawały w drewnie oraz z drewna; że drewno bardziej niż inne budulce skłaniało naszych antenatów do inżynierskiej pomysłowości, i że jego trwałość w budowlach może przekraczać 1300 lat – tyle bowiem liczy drewniana świątynia Horyuji w japońskim mieście Nara. ▶

Jednak kilka ostatnich pokoleń architektów i krytyków architektury wynosiło ponad drewno inne budulce, nienapiętnowane tradycją: stal, aluminium, żelbet, szkło. Lecz gdy w 2002 roku laureatem nagrody Pritzкера za twórczość architektoniczną został projektujący między innymi drewniane budynki Glenn Murcutt, teoretycy i krytycy architektury znów przyjrzeni się drewnu jako tworzywu architektury współczesnej. Wkrótce do grona laureatów tejże nagrody będących miłośnikami drewna dołączyli: Peter Zumthor (2009), Eduardo Souto de Moura (2011), Wang Shu (2012) i Shigeru Ban (2014), a ku drewnu zwrócił się też wcześniejszy pritzkerowski laureat z 1998 roku, Renzo Piano. Co ciekawe, wszystkich ich łączy nie tylko doskonałość projektowanej formy, lecz także pomysłowość w wykorzystaniu konstrukcyjnego potencjału drewna.

Drewno stało się znów – po około stuletniej przerwie – bodajże najpopularniejszym budulcem pawilonów Wystaw Światowych (Expo), począwszy od Expo 2000 w Hanowerze, gdzie wzniesiono szereg drewnianych obiektów: zaprojektowany przez Petera Zumthora pawilon Szwajcarii, zaprojektowany przez Shigeru Ban pawilon Japonii, drewniany pawilon Finlandii (arch. Sarlotta Narjus i Antti-Matti Siikala) czy też zaprojektowane przez Thomasa Herzoga i wykonane z drewna klejonego ogromne wspornikowe zadaszenie centralnej przestrzeni spotkań. Kolejne wystawy coraz wyraźniej ukazywały twórczy potencjał drewna (fot. 1., 2.), może za wyjątkiem pozbawionej architektonicznego pluralizmu wystawy w Astanie w roku 2017.

zaś niniejszy streszcza całokształt zjawiska, ujmując je najpierw w trzy kategorie: materiału, konstrukcji oraz estetyki (formy) i wskazując te jego wytwory, które wyznaczają obecny stan oraz oczekiwaną (przyszłą) horyzont rozwoju nowoczesnej architektury drewnianej.

Materiał

Surowiec drzewny od stuleci był przedmiotem handlu (także międzynarodowego) i podlegał standaryzacji jakościowej oraz nazewnictwej. Dawne piśmiennictwo techniczne potwierdza, że już w połowie XIX wieku rozróżniano około stu kategorii drewna budowlanego i stolarskiego. Później drewno budowlane objęto w większości krajów rozwiniętych jeszcze precyzyjniejszą standaryzacją – jako drewno konfekcjonowane.

Drewno jako takie – lekkie, wytrzymałe, łatwe w obróbce i montażu – ma jednak niedostatki. Może mieć wady ukryte, lecz nawet gdy jest pierwotnie zdrowe, podlega korozji biologicznej oraz pozostaje podatne na deformacje (paczzenie). Zapobiegano temu przez zabiegi impregnacyjne, lecz faktycznym przełomem w walce z wadami drewna, zwłaszcza ze skłonnością do paczenia, był rozwój fizykochemicznych metod strukturalnego ulepszania surowca i produkcja wyrobów drewnopochodnych: płyt pilśniowych, wiórowych oraz sklejek. Znalazły one zastosowanie w meblarstwie, stolarstwie budowlanym i w robotach wykończeniowych, ale sklejki, wytwarzane już od lat sześćdziesiątych XIX wieku, a z czasem także płyty wiórowe, zaczęto wykorzystywać jako elementy konstrukcji budowlanych.

Również w roku 1860 zaczęto stosować tę samą zasadę łączenia drewnianych warstw (oblogów, lamelli) w wielkogabarytowych częściach budowli, przy czym łączono znacznie grubsze niż w przypadku sklejki warstwy za pomocą gwoździ lub kleju kazeinowego, lub obu metod. W ten sposób powstała idea drewna klejonego, później spopularyzowanego pod nazwą *glued laminated timber* albo *glulam*, choć jej zapowiedzią były już wcześniejsze próby łączenia drewnianych belek w rozmaitych konstrukcjach szeroko rozpiętych (w 1807 roku Carl Friedrich Wiebeking stosował je w mostach, a w roku 1817 – Augustyn Betancourt w stropach i dachach). Jednak dopiero po 1866 roku, kiedy dźwigary dachowe z takiego materiału zastosował Josiah George Poole w jednym z budynków uniwersyteckich w Southampton, stopniowo zainteresowały się nimi firmy tartaczno-ciesielskie. Otto Hetzer, właściciel jednego z tartaków w Weimarze, opatentował w roku 1906 złożenie dwóch słupów, belki stropowej i krokwi tworzących powtarzalny element portalu architektonicznego, przy czym całość była wykonana z co najmniej trzech równoległe połączonych warstw (oblogów) drewna. W roku 1909 patent na to rozwiązanie wykupiła szwajcarska firma Terner & Chopard i po zmodyfikowaniu zastosowała w kilku projektach; w kolejnych dekadach wprowadzono też mocniejsze kleje kauczukowe, udoskonalając techniki łączenia drewna. W roku 1934



Fot. 1. (na poprzedniej stronie) Pawilon Japonii na wystawie Expo 2015 w Mediolanie
Fot. 2. (powyżej) Pawilon Chin na wystawie Expo 2015 w Mediolanie – wspólny projekt Uniwersytetu Tsinghua i Studio Link-Arcfot

Ostatnie dwie dekady (2000–2019) przyniosły więc odrodzenie i rozwój idei drewnianej architektury w wymiarze estetycznym, konstrukcyjnym oraz krytycznym. Niniejszy artykuł i jego przyszłe kontynuacje są próbą naukowego ujęcia tego rozwoju oraz jego usystematyzowania z perspektywy krytyki architektury (zatem z perspektywy niejako historycznej), z uwypukleniem najciekawszych tendencji. Tym poszczególnym tendencjom będą poświęcone kolejne części,

Ostatnie dwie dekady przyniosły odrodzenie i rozwój idei drewnianej architektury w wymiarze estetycznym, konstrukcyjnym oraz krytycznym. Drewno stało się znów – po około stuletniej przerwie – bodajże najpopularniejszym budulcem pawilonów Wystaw Światowych (EXPO).

Drewno klejone krzyżowo można formować w elementy dowolnych kształtów oraz wielkości.



Fot. 3. Przekrycie z drewna klejonego hali sportowej Richmond Olympic Oval wykonane z drewna klejonego; proj. biuro Canon Design (arch. Bob Johnston z zespołem, 2006–2008; rozpiętość 100 m

Źródło: Wikimedia Commons: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Richmond_Olympic_Oval_Interm_View.jpg na licencji Creative Commons Attribution 2.0 Generic, fot. Duncan Rawlinson, 2008



Fot. 4. Pawilon wystawowy Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych CERN w Meyrin (proj. arch. Hervé Dessimoz i Thomas Büchi, 2002

Źródło: <https://pxhere.com/cs/photo/1353157>, fot. na wolnej licencji

Drewno klejone w przekryciach hal ułatwia nadanie budynkom kształtów krzywoliniowych oraz „organicznych”

drewno klejone zaczęto wytwarzać w USA (firma Unit Structures) i tam też po raz pierwszy – w 1963 roku – objęto je standaryzacją normową. Lata sześćdziesiąte XX wieku przyniosły przełom w budowlanym zastosowaniu drewna klejonego, które wówczas zdobyło popularność w budownictwie halowym jako budulec przekryć o wielkich rozpiętościach; serię odnośnych realizacji zapoczątkowało wzniesienie w 1957 roku na terenie kampusu Montana State University w Bozeman w USA kolistej hali Brick Breeden Fieldhouse, przekrytej drewnianą kopułą o rozpiętości 90 m.

Ponadto w tej samej dekadzie wprowadzono do produkcji nowy rodzaj drewna strukturalnie przetworzonego, mianowicie płyty wiórowe OSB (ang. *oriented strand board*) opatentowane w 1963 roku przez Armina Elmendorfa i dość szybko zaakceptowane jako relatywnie tani oraz wytrzymały materiał konstrukcyjny, znacznie tańszy od drewna klejonego (bo wytwarzany masowo z odpadów), chętnie stosowany w stropowych i dachowych belkach dwuteowych oraz do stężenia konstrukcji.

Później, w latach dziewięćdziesiątych XX w., kilka niemieckich i austriackich firm tartaczno-budowlanych wprowadziło na rynek nowy rodzaj drewna klejonego – drewno klejone krzyżowo (*cross-laminated timber, CLT*), dość szybko upowszechnione w budownictwie środkowo-zachodniej części Europy, to jest najpierw w północnych Włoszech, Austrii, Szwajcarii i Niemczech, a także w krajach skandynawskich. Na przełomie stuleci uznano je za najbardziej obiecujący materiał budowlany, wręcz za „budulec XXI wieku”, pozwalający na seryjne wytwarzanie elementów wielkogabarytowych i na szybki montaż prefabrykowanych drewnianych budowli metodami podobnymi jak we wcześniejszym budownictwie żelbetowo-wielkopłyto- wym, dzięki czemu postawienie kilkukondygnacyjnego budynku mogło trwać zaledwie kilka tygodni. Aktualnie w wielu ośrodkach badawczych na całym świecie prowadzone są prace nad tańszymi metodami produkcji CLT, nad polepszeniem jego parametrów wytrzymałościowych i nad optymalizowaniem jego użycia.

Za „materiały budowlane przyszłości” zaczyna się też uważać wytwarzane z udziałem drewna wyroby kompozytowe o strukturze złożonej. Liczba ich rodzajów rośnie w postępie wykładniczym. Największe znaczenie mają obecnie:

- kompozytowe płyty TCC (ang. *timber-concrete composite*) z warstwy drewna połączonej z warstwą betonową, a także wykonane z nich gotowe wielkogabarytowe panele konstrukcyjne, zwłaszcza stropowo-podłogowe;
- kompozyty SIP (ang. *structural insulated panel*) z warstwą izolującą i wykonane z nich panele ścienne;
- kompozyty WPC (ang. *wood-plastic composite*) z włókien drzewnych wzmocnionych tworzywami sztucznymi, stosowane jako okładziny i elementy konstrukcyjne w miejscach narażonych na wilgoć.

Obecnie trudno jeszcze przewidzieć przyszłe wykorzystanie wielu innych technologii kompozytowych, na przykład elementów z drewna klejonego zbrojonych prętami stalowymi lub poliestrowo-szkłanymi. Na przyszłą sztukę budowlano-architektoniczną wpłyną też technologie optymalizujące drewniane budownictwo pod względem kosztów. Do nich można zaliczyć drewno łączone warstwowo za pomocą drewnianych kółków (niem. *brettstapel, dübelholz*, ang. *dowel laminated timber, dowellam, DLT*), która to technologia może w pewnej mierze zastąpić budowlane użycie droższego drewna klejonego.

Konstrukcja

Od lat sześćdziesiątych XX wieku drewno klejone stało się materiałem z wyboru, a niekiedy preferowanym, do wykonywania mostów i przekryć o dużych rozpiętościach. Dwa drewniane mosty o dwudziestometrowej rozpiętości w Keyston Wye w północnoamerykańskim stanie Dakota (w tym jeden wsparty na masywnym drewnianym łuku), oddane do użytku w roku 1968, zachęciły konstruktorów do coraz częstszych prób użycia drewna klejonego w tego typu budownictwie. Przy użyciu drewna klejonego wznoszono przęsła o coraz większej rozpiętości, nawet ponad 85 metrów (kratownicowy most Placer River Trail w Portage w USA; proj. i wykon. Western Wood Structures w 2013 roku). W przypadku przekryć osiągnano jeszcze większe rozpiętości: drewniana kopuła geodezyjna nakrywająca halę widowiskową w Tacoma niedaleko Seattle w stanie Waszyngton, zaprojektowana przez biuro McGranahan Architects i wzniesiona w 1983 roku, nakrywa kolistą przestrzeń o średnicy 160 metrów, a późniejsza o dekadę hala w Marquette w stanie Michigan – 163 m.

Wprowadzenie do budownictwa drewna krzyżowo klejonego (CLT) zdezaktualizowało stosowane wcześniej koncepcje konstrukcyjne oparte na idei statycznie wyznaczalnych konstrukcji prętowych i w praktyce zakładające komponowanie budynku z elementów nośnych, takich jak słup, belka – podciąg, belka – nadproże, dźwigar dachowy oraz jego składowe (platew, krokiew) i tym podobne. Drewno klejone krzyżowo można bowiem formować w elementy dowolnych kształtów oraz wielkości (fot. 5.), zachowując jednakową wytrzymałość na rozciąganie w dwu lub więcej kierunkach, toteż



Wizualizacja: WVD VISION

Fot. 6. Polski pawilon na wystawę światową Expo 2020 w Dubaju (proj. Pracownia Architektoniczna WXCA)

w ostatniej dekadzie XX wieku niektóre przedsiębiorstwa wnoszące z drewna klejonego budynki, zwłaszcza zaś domy jedno- i wielorodzinne, odeszły od tradycyjnej typologii elementów konstrukcyjnych i zaczęły wytwarzać wielkogabarytowe drewniane prefabrykaty budowlane, w tym monolityczne ściany z otworami okiennymi oraz drzwiowymi, bezkrokwiowe połączenia dachowe, stropy bezżebrowe, a nawet całe budynki bądź to składane do transportu, bądź też – jeśli były niewielkie – transportowane z fabryki na plac budowy w stanie gotowym, surowym lub wykończonym. W kategoriach elementów konstrukcji zaczęto wznosić drewniane budynki z tarcz i płyt zamiast słupów oraz belek, jednak elastyczność budulca i zarazem sztywność połączeń skłania inżynierów do poszukiwania nowych sposobów oceny wytrzymałości takich struktur, niemieszczących się w ramach konstrukcji statycznie wyznaczalnych. Obecnie testuje się dwie grupy metod: nowe metody analityczno-obliczeniowe oraz nieanalityczne metody eksperymentalne oparte na pomiarach rzeczywistych. Ta druga grupa obejmuje także laboratoryjne badania sejsmiki drewnianych budynków, w tym także na modelach w skali 1:1.

Estetyka architektoniczna

Poszukiwania nowej estetyki architektonicznej korelującej z własnościami drewna wciąż trwają i są wielokierunkowe. Drewno klejone w przekryciach hal ułatwia nadanie budynkom kształtów krzywoliniowych oraz „organicznym” (fot. 4.), zaś budynki niehalowe z wielkogabarytowych powtarzalnych elementów CLT bywają raczej utrzymane w estetyce puryzmu i geometryzacji (fot. 6.). Komponowanie z elementów małogabarytowych skłania do poszukiwań inspiracji estetycznej w tradycji i dawnej ciesielce (celuje w tym japoński architekt Kengo Kuma), toteż powstają nowoczesne budynki nawiązujące w konstrukcji bądź w formie, bądź w ornamentyce do dawnych wernakularnych konstrukcji, takich jak buksztelowa (staroangielska *cruck frame*), słupowo-klamrowa (starochińska *dougong*), wieńcowa (w tym starojapońska *azekura-zukuri*), przysłupowa i różne rodzaje konstrukcji podpierających się nawzajem czy też wzajemnie zakleszczonych (*reciprocal structures*), czy też do dawnych rozwiązań wykończeniowych (japońska impregnacja drewna *yakisugi* albo *shōsugiban*).

I wreszcie wznoszenie drewnianych budynków wysokich – fenomen ostatniej dekady – zaowocowało estetyką „kontenerową” rywalizującą z eksperymentami i poszukiwaniami progresywnymi.

W kolejnym numerze: Część II. Budownictwo szybkościowe z drewna

DOI: 10.5604/01.3001.0013.2853

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

Bibliografia

- [1] Crocetti P., Large-Span Timber Structures, Proceedings of the World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'16), Prague, Czech Republic – March 30–31, 2016, paper No. ICSENM 124, DOI: 10.11159/icsenm16.124.
- [2] Horx-Strathern O., Varga C., Guntschnig G., The Future of Timber Construction: CLT – Cross Laminated Timber. A study about changes, trends and technologies of tomorrow, Zukunftsinstitut Österreich GmbH, Vienna 2017.
- [3] Kozłowski W., Słownik leśny, bartny, bursztyniarski i oryński, z. 1-2, Redakcja „Sylwana” + S. Orgelbrand, Warszawa 1846–1947.
- [4] Podczaszyński K., Nomenklatura architektoniczna czyli Słowomiennik cieślących polskich wyrazów, Drukarnia J. Jaworskiego, Warszawa 1854.

Streszczenie. Niniejszy artykuł i jego przyszłe kontynuacje są próbą naukowego ujęcia rozwoju architektury drewnianej i jego usystematyzowania z perspektywy krytyki architektury, zatem z perspektywy niejako historycznej, choć skoncentrowanej na zjawiskach najnowszych, z wypukleniem najciekawszych aktualnych tendencji. Tym poszczególnym tendencjom będą poświęcone kolejne odcinki, zaś niniejszy ma charakter propedeutyczny i streszcza całokształt zjawiska, ujmując je najpierw w trzy kategorie: materiału, konstrukcji oraz – pokrótce – także estetyki (formy), i wskazując te jego wytwory, które wyznaczają obecny stan oraz oczekiwany (przyszły) horyzont rozwoju nowoczesnej architektury drewnianej.

Słowa kluczowe: historia architektury współczesnej; architektura drewniana; budownictwo drewniane

Abstract. *Wood in contemporary architecture. The article opens a series devoted to evolution of timber architecture, polite rather than vernacular. The subject matter is taken under systematic examination in terms of history and theory of architecture, with focus on the most recent and most essential problems. The forthcoming articles of the series will refer to consecutive categories of the relevant problems, whilst this issue is of propaedeutic nature, as it formulates general framework for the subsequent examination of present-day timber architecture, namely, in threefold terms of material, construction and aesthetics. The milestones in the general development of timber-made architecture, are observed and defined, as well as resultant prognosis is formulated.*

Keywords: history of contemporary architecture; timber architecture; wooden architecture