

Pierwsze polskie badania nad drewnem księżycowym

inż. Wojciech Grzeczka, inż. Aleksander Kuligowski, dr hab. inż. Tomasz Błaszczyński,
Eur Ing CEng MStructE, prof. uczelni, dr inż. Barbara Ksit, Politechnika Poznańska

1. Wprowadzenie

Historia cywilizacji w nieodłączny sposób związana jest z drewnem, bowiem jest to jeden z najbardziej powszechnych, a zarazem najstarszych surowców wykorzystywanych przez człowieka (rys. 1). Ze względu na swą ogólnodostępność okazało się, że materiał ten jest świetnym środkiem do opału. Wraz z odkryciem ognia stał się elementem ściśle związanym z życiem człowieka, przez wzgląd na łatwość pozyskania. Zapewniało to człowiekowi nie tylko dostęp do światła, ale również pozwalało ogrzewać pomieszczenia, czy przygotować jedzenie. Wraz z upływem lat użyteczność drewna stawała się bardziej popularna i miała swe zastosowanie w innych formach.



Rys. 1. Zdjęcie wykopalisk archeologicznych z terenu pierwszej w Polsce osady drewnianej – Biskupin [1]

Wykorzystanie drewna w budownictwie było kolejnym kamieniem milowym w historii drewna. Materiał ten stanowił bazę przy wznoszeniu schronień, w szczególności przy konstruowaniu ścian, podłóg czy zadaszenia. W dalszym etapie powstawała również drewniana stolarka. Surowiec ten służył również człowiekowi do budowy statków. Te z kolei ułatwiały ludziom nie tylko podróżowanie, ale również transport towarów. Drewno znalazło też zastosowanie przy produkcji narzędzi, które w istotny sposób ułatwiały codzienne funkcjonowanie.

2. Korelacja pomiędzy fazami księżyca a porami ścięcia drzew

Aby uzyskać materiał określany mianem „drewna księżycowego”, trzeba wziąć pod uwagę dwa podstawowe

czynniki. Na datę ścięcia drzewa wpływa: odpowiednia faza Księżyca – czas po jego pełni oraz odpowiednia pora roku – jest to zima.

Księżyc ma bezpośredni wpływ na fizjologię drzewa. W fazie jego ubywania następuje odpływ soków ku podstawie pnia. Przepływ ten skutkuje zwiększeniem gęstości drewna. Dowodem na to są badania przeprowadzone w Szwajcarii [2], w których przedstawiono zależność pomiędzy względną gęstością a utratą wody w materiale. Drewno ścięte po pełni Księżyca charakteryzuje się mniejszą utratą wody, co przekłada się na większą gęstość względną.

Pierwsze wzmianki na ten temat znajdują się już w starożytnej literaturze, np. u Pliniusza, który drewnu ściętemu zimą przypisuje jakość wyższą od jakości drewna ściętego w lecie. Wszelkie wątpliwości rozwiąły badania laboratoryjne i poligonowe Knuchela [3] i Gäumanna [4], które pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków „...drewno z ścin-ki letniej wysycha prędko, co powoduje powstanie stycznych naprężeń rozciągających w obwodowej strefie drewna okrągłego. W drewnie takim, zwłaszcza liściastym, występują liczniejsze i głębsze pęknięcia, niż w drewnie ze ścin-ki zimowej. Istotę zagadnienia stanowi trwałość drewna. Drewno ze ścin-ki zimowej jest bardziej odporne na działanie grzybów i trudniej ulega procesom rozkładowym, co z kolei wy-wiera wpływ na wytrzymałość drewna. ...”[5].

Dodatkowym czynnikiem wpływającym na polepszenie właściwości drewna jest wysokość nad poziomem morza, na której rośnie ścięte drzewo. Wraz z jej wzrostem skracą się okresy wegetacji drzewa, co bezpośrednio przekłada się na gęstsze przyrosty roczne, a to z kolei powoduje zwiększenie gęstości. Jest ona podstawowym parametrem wytrzymałościowym drewna i pozwala na otrzymanie lepszych właściwości mechanicznych.

3. Materiał badawczy

Materiał badawczy stanowią deski świerkowe, które zostały przekazane przez firmę Erwina Thomy za pośrednictwem firmy Treetop (rys. 2). Drzewa, z których wykonano deski, zostały ścięte około 80 km od miejscowości Gußwerk w Austrii. Rosły na wysokości między 800 a 1200 m n.p.m. Zostały ścięte zgodnie z „kalendarzem księżycowym” na przełomie roku 2019 i 2020. Bliższy wiek drzew nie został określony. Po ścięciu drewno było suszone na powietrzu do wiosny roku 2021. Przed ostatecznym otrzymaniem desek były one technicznie suszone do wilgotności $10 \pm 2\%$.



Rys. 2. Deski, z których zostały wykonane próbki

4. Przebieg badań

Badania zostały przeprowadzone w ramach pracy magisterskiej: „Analiza parametrów wytrzymałościowych drewna księżycowego”, które opierały się na oznaczeniu wytrzymałości na ściskanie oraz zginanie drewna księżycowego. Dodatkowo wykonano oznaczenie gęstości i wilgotności drewna. Badania przeprowadzono w laboratorium Instytutu Konstrukcji Budowlanych Politechniki Poznańskiej. Stanowisko pomiarowe – to zaawansowany system do badań wytrzymałościowych INSTRON (rys. 3). Każde z badań zostało przeprowadzone na 40 próbkach, co stanowi minimalną próbę badawczą zgodnie z PN-EN 384:2004.



Rys. 3. Elementy systemu do badań wytrzymałościowych INSTRON – stanowisko do badań wytrzymałościowych wraz z oprogramowaniem Bluehill 2

4.1. Oznaczenie gęstości drewna

Gęstość drewna oznaczono metodą stereometryczną według PN-EN 384:2004. Przed badaniami wytrzymałościowymi dokonano pomiaru próbek, wzdłuż odpowiednich osi symetrii. Pomiar wykonano z dokładnością do 0,01 mm, przy użyciu suwmiarki (rys. 4). Oznaczono ich masę z dokładnością do 0,01 g.

Gęstość drewna ρ_w o wilgotności W , obliczono według wzoru:

$$\rho_w = \frac{m_w}{a_w b_w l_w} = \frac{m_w}{V_w}$$

gdzie:

m_w – masa próbki przed suszeniem o wilgotności W [g],
 a_w, b_w, l_w – wymiary liniowe przekroju poprzecznego i długość próbki o wilgotności W [mm],
 V_w – objętość próbki o wilgotności W .



Rys. 4. Pomiar próbki względem kolejnych osi symetrii

Wyniki zgodnie z zapisem normy zostały skorygowane, ponieważ wilgotność próbek wynosiła poniżej 12%. Oznaczało to zwiększenie gęstości o 0,5% na każdy punkt procentowy wilgotności próbek.

4.2. Oznaczenie wytrzymałości drewna na ściskanie

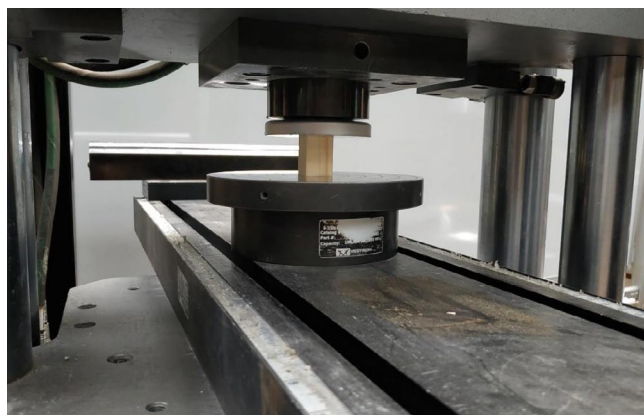
Badanie wykonano w warunkach odniesienia (temperatura powietrza wynoszącej 20°C i wilgotności równej 65% zgodnie z PN-EN 408:2004). Próbki w trakcie badań zostały obciążone wzdłuż osi podłużnej z zastosowaniem głowicy, umożliwiającej przyłożenie obciążenia ściskającego bez udziału zginania. Kierunek działania siły ściskającej był równoległy do podłużnej osi próbki (rys. 5). Próbki obciążano równomiernie ze stałą prędkością 4 kN/min dobraną we wstępnym teście, tak aby maksymalną wartość obciążenia osiągnąć w czasie 300±120 s od chwili rozpoczęcia obciążenia.

Wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien obliczono ze wzoru:

$$f_{c,0} = \frac{F_{max}}{ab}$$

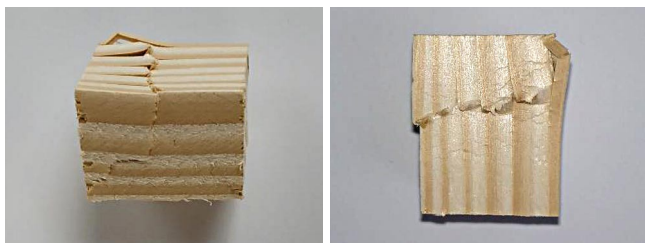
gdzie:

F_{max} – obciążenie maksymalne [N],
 a – wymiar próbki w kierunku promieniowym [mm],
 b – wymiar próbki w kierunku stycznym.



Rys. 5. Umieszczenie próbki do badania wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien w głowicy maszyny wytrzymałościowej

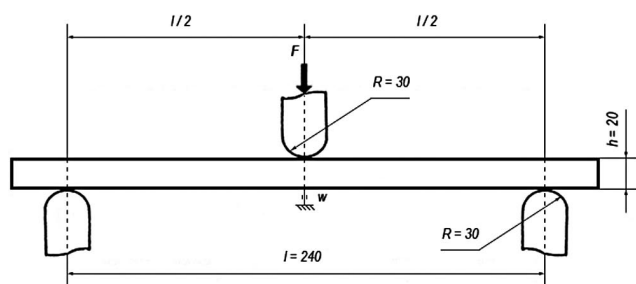
Końcowe odkształcenie próbek przybiera różnorodną postać. Pod wpływem ściskania, następuje często ścięcie drewna wczesnego wzdłuż warstw drewna późnego, co można dostrzec w formie fałdy pod kątem 40–60° do krawędzi pionowej (rys. 6).



Rys. 6. Charakterystyczny sposób deformacji próbek w trakcie badania wytrzymałości na ściskanie

4.3. Oznaczenie wytrzymałości drewna na zginanie

Badanie wykonano w warunkach odniesienia (temperatura powietrza wynoszącej 20°C i wilgotności równej 65% zgodnie z PN-EN 408:2004). Zginanie przeprowadzono, przy działaniu jednej siły skupionej w kierunku prostopadłym, do przekroju promieniowego drewna. Próbkę umieszczano swobodnie, symetrycznie na dwóch podporach, w sposób umożliwiający przeniesienie obciążenia przez napór na próbkę w środku jej długości. Odległość między podporami była 12 razy większa od wysokości próbki. Wymiar między naporem i podporą był równy sześciokrotnej wartości wysokości próbki (rys. 7).



Rys. 7. Schemat obciążania próbek podczas oznaczania wytrzymałości na zginanie statyczne, gdzie: F – kierunek obciążania, h – wysokość próbki [mm], w – przemieszczenie, l – rozpiętość próbki mierzona między podporami [mm], R – promień zaokrąglenia podpór i napory [mm] [6]



Rys. 8. Umieszczenie próbki do badania wytrzymałości na zginanie statyczne w głowicy maszyny wytrzymałościowej

Test próbki zaczynano od przyłożenia siły wstępnej F , o wartości 0,5 kN, a następnie obciążano ją ze stałą prędkością 0,3 kN/min (rys. 8). Tempo obciążania zostało wyznaczone próbnie, tak aby obciążenie maksymalne zostało osiągnięte po 300 ± 120 s. Po zakończeniu badań dla każdej próbki sporządzono wykres, przedstawiający zależność między obciążeniem i ugięciem (rozdział wyniki). Wartość ugięcia odczytywano z danych przekazanych przez czujnik głowicy pomiarowej, które zostały zapisane w formie tabelarycznej, przez oprogramowanie urządzenia do badań wytrzymałościowych. Wytrzymałość na zginanie statyczne obliczono ze wzoru:

$$f_m = \frac{3F_{max}l}{2bh^2}$$

gdzie:

F_{max} – obciążenie maksymalne [N],

l – rozpiętość próbki mierzona między podporami [mm],

b – szerokość próbki [mm],

h – wysokość próbki [mm].

4.4. Oznaczenie modułu sprężystości przy zginaniu statycznym

Na podstawie otrzymanych wyników badań dla każdej próbki sporządzono wykres przedstawiający zależność między obciążeniem i ugięciem (rys. 9). Odcinek wykresu odpowiadający przedziałowi obciążenia od $0,1 F_{max}$ do $0,4 F_{max}$ wykorzystano do analizy regresji. Dla każdego wykresu określano najdłuższą część tego odcinka, która odpowiadała współczynnikowi korelacji równemu co najmniej 0,99 [6].

Zastosowano wzór:

$$f_m = \frac{(F_2 - F_1) \cdot l^3}{4 \cdot (w_2 - w_1) \cdot bh^3}$$

gdzie:

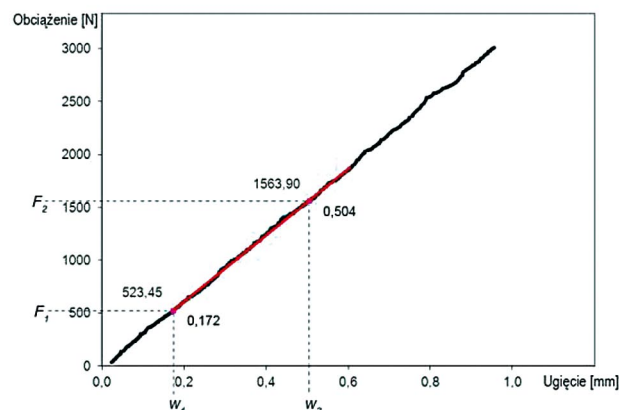
$F_2 - F_1$ – przyrost obciążenia odpowiadający odcinkowi linii regresji o współczynniku korelacji równym co najmniej 0,99 [N],

l – rozpiętość próbki mierzona między podporami [mm],

$w_2 - w_1$ – przyrost ugięcia odpowiadający przyrostowi obciążenia [mm],

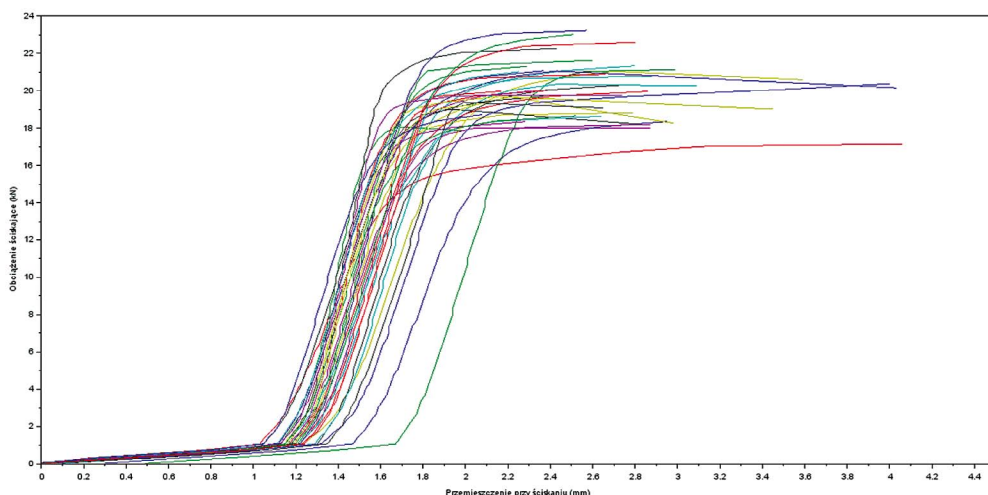
b – szerokość próbki [mm],

h – wysokość próbki [mm].

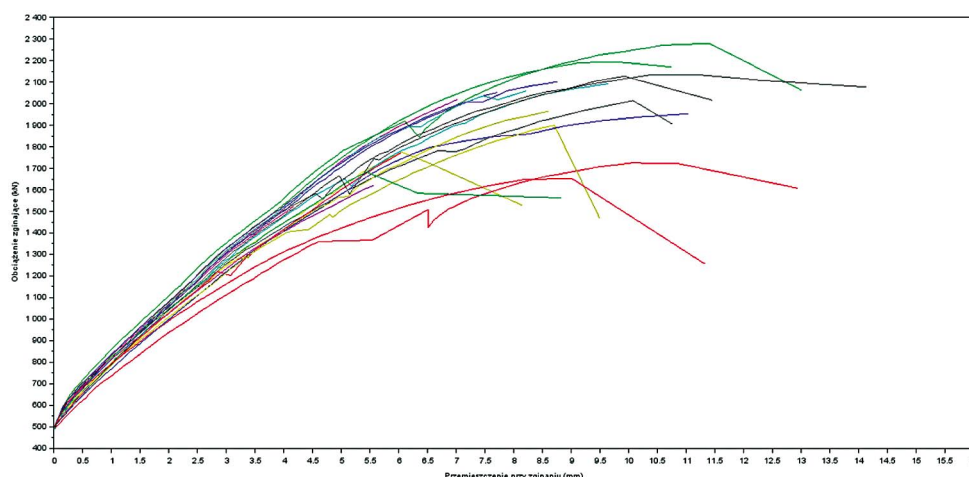


Rys. 9. Wykres przedstawiający zależność między obciążeniem (F) i ugięciem (w) w zakresie [6]

Rys. 10. Wykres zależności obciążenia ściskającego względem przemieszczenia przy ściskaniu



Rys. 11. Wykres zależności obciążenia ściskającego względem przemieszczenia przy zginaniu



5. Wyniki badań

5.1. Badanie gęstości

Badanie powinno być przeprowadzone w warunkach odniesienia (w temperaturze powietrza wynoszącej 20°C i wilgotności równej 65% zgodnie z PN-EN 408:2004). Wilgotność badanych próbek wynosiła 7%. Zgodnie z zapisem normy wyniki skorygowano. Oznacza to zwiększenie gęstości o 0,5% na każdy punkt procentowy różnicy wilgotności próbek w stosunku do normatywnych 12%. Ostatecznie średnia gęstość drewna wyniosła 427,74 kg/m³.

5.2. Badanie wytrzymałości na ściskanie

Dla badania sporządzono wykres zależności obciążenia ściskającego wyrażonego w N (oś Y) względem przemieszczenia przy ściskaniu wyrażonego w mm (oś X) (rys. 10). Średnia wytrzymałość na ściskanie osiągnęła wartość 50,37 MPa.

5.3. Badanie wytrzymałości na zginanie

Wyniki badania obrazuje wykres (rys. 11), gdzie przedstawiono zależność między obciążeniem zginającym wyrażonym w N (oś Y) w stosunku do przemieszczenia przy zginaniu wyrażonym w mm (oś X) (rys. 10). Badanie rozpoczęto od przyłożenia wstępnej siły o wartości 500 N w celu dopasowania

głowicy maszyny badawczej do badanej próbki. Średnia wytrzymałość na zginanie wyniosła 85,04 MPa.

5.4. Badanie modułu sprężystości przy zginaniu

W przypadku, gdy badania zostały przeprowadzone w warunkach odniesienia, a wilgotność próbek jest różna od 12%, należy wprowadzić poprawkę dla modułu sprężystości w wysokości 2% na każdy punkt procentowy różnicy wilgotności. Wilgotność badanych próbek wynosiła 7%, co różni się o 5 punktów procentowych od wilgotności na poziomie 12%. W związku z tym zmniejszono wartość modułu o 10% (2% na każdy punkt procentowy różnicy wilgotności). Średnia wartość modułu sprężystości przy zginaniu osiągnęła wartość 12035 MPa.

6. Podsumowanie

W pracy przedstawiono jedynie parametry techniczne badanego drewna księżycowego, tj. gęstość, wytrzymałość na zginanie i wytrzymałość na ściskanie oraz moduł sprężystości. Badania pozostałych cech, takich jak odporność ogniowa i odporność na korozję biologiczną oraz badania mikroskopowe są jeszcze w toku. Jednak już z tych wyników widać, że analizowane drewno ma parametry znacznie wykraczające poza każdą z klas drewna iglastego zawartą w wymaganiach Euronormy [7] (tab. 1). Natomiast zgodnie z badaniami

Tabela 1. Klasy wytrzymałości
– Wartości charakterystyczne wg [7]

Instytutu Technologii Drewna w Poznaniu [8] dla drewna świerkowego parametry są następujące:

- gęstość (drewno o wilgotności 12%): 470 kg/m³,
- wytrzymałość na ściskanie: 50 N/mm²,
- wytrzymałość na zginanie: 78 N/mm²,
- moduł sprężystości: 11000 N/mm²,

Otrzymane wartości przy mniejszej gęstości nieco tylko je przekraczają. Potwierdzają to również badania wykonane przez E. Zürchera w 2001 roku na 30 świerkach pospolitych, które zostały ścięte podczas 6 dni, 3 w czasie ubywającego księżycy oraz 3 podczas przybywającego księżycy [9].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Foester M., Biskupin. Prasłowiański mit, 2008, <https://esensja.pl/film/recenzje/tekst.html?id=5105>
- [2] Knuchel H., Untersuchungen über den Einfluss der Fällzeit auf die Eigenschaften des Fichten- und Tannenholzes, Bern, 1930
- [3] Gäumann E., Ober den Einfluss der Fällungszeit auf die Dauerhaftigkeit des Fichten- und Tannenholzes, Beihefte der Zeitschrift des Schweizerischen Forstvereins, Bern, 1930

		Gatunki iglaste													Gatunki liściaste									
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70			
Właściwości wytrzymałościowe (w N/mm ²)																								
Zginanie	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70			
Rozciąganie wzdłuż włókien	$f_{t0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42			
Rozciąganie w poprzek włókien	$f_{t90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6			
Ściskanie wzdłuż włókien	$f_{c0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34			
Ściskanie w poprzek włókien	$f_{c90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5			
Ścinanie	f_{vk}	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0			
Właściwości sprężyste (w kN/mm ²)																								
Średni moduł sprężystości wzdłuż włókien	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20			
5 % kwantyl modułu sprężystości wzdłuż włókien	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8			
Średni moduł sprężystości w poprzek włókien	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33			
Średni moduł odkształcenia postaciowego	G_{mean}	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25			
Gęstość (w kg/m ³)																								
Gęstość charakterystyczna	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	550	620	700	800			
Średnia gęstość	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1080			

- [4] Zürcher E., Rogenmoser Ch., Considering reversible Variations in Wood Properties: possible Applications in the Choice of the Tree-Felling Date? Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe – Timber Committee, Geneva, Switzerland, 2010
- [5] Krzysik F., Nauka o drewnie, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1975
- [6] Łapka M., Wpływ efektu skali na mechanikę zniszczenia drewna konstrukcyjnego, Opole, 2013
- [7] PN-EN 338:2004 Drewno konstrukcyjne. Klasy wytrzymałości
- [8] Sława-Neyman S., Owczarzak Z., Świerk, <https://www.itd.poznan.pl/pl/vademecum/swierk>
- [9] Zürcher E., Lunar rhythms in forestry traditions – lunar-correlated phenomena in tree biology and wood properties, Earth, Moon and Planet, 2001, str. 85–86

Budimex podpisał umowę na budowę nowego mostu nad Wisłą w Warszawie

23 listopada 2021 r. Budimex podpisał umowę na budowę w formule „Buduj” mostu pieszo-rowerowego przez Wisłę, która ma połączyć Centrum Warszawy z Pragą Północ. Most ten ma liczyć 452 m – będzie to najdłuższa przeprawa dla pieszych i rowerzystów w Polsce oraz jedna z największych tego typu inwestycji w Europie. Dzięki budowie nowego mostu Praga stanie się swego rodzaju „przedłużeniem” Śródmieścia Warszawy. Inwestorem kontraktu jest stołeczny Zarząd Dróg Miejskich.

Most, który wybuduje Budimex, ma połączyć brzozi Wisły na wysokości ul. Karowej i ul. Stefana Okrzei. Przebiec trasy kładką ma zająć wówczas 6 minut pieszo lub 2 minuty rowerem. Most pieszo-rowerowy będzie łączył odnowioną część prawobrzeżnej Warszawy z Bulwarami Wiślanymi. Dla pieszych powstanie ciąg łączący ul. Żabkowską z Powiślem i dalej Krakowskim Przedmieściem, natomiast dla rowerzystów powstanie ma korytarz rowerowy, łączący Pragę i Targówek z Powiślem, Śródmieściem i Wolą.

Jednopoziomowa, pieszo-rowerowa przeprawa przez Wisłę ma być wykonana ze stali pokrytej farbą w kolorze kortenu. W najszerszym punkcie most ma mierzyć 16,3 m., natomiast w najwęższym 6,9 m szerokości.

Konstrukcja będzie miała wbudowane w balustrady oświetlenie LED, zamontowane zostaną także kamery monitoringu. Obiekt będzie w pełni przystosowany do potrzeb osób z niepełnosprawnościami o ograniczonej mobilności. Na moście wydzielone mają zostać również dwie strefy przeznaczone do wypoczynku.

Wartość kontraktu wynosi 120 mln 961 tys. zł. Koniec robót ma nastąpić w lutym 2024 roku.

