

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Wytrzymałość elementów drewnianych na oddziaływanie obciążeń wybuchowych

Szlachta Artur¹, Gajewski Tomasz¹, Sielicki Piotr¹

¹Institut Analizy Konstrukcji, Politechnika Poznańska

STRESZCZENIE: Drewno jest podstawowym budulcem wykorzystywanym w inżynierii wojskowej. Wojskowe instrukcje proponują obliczanie wytrzymałości elementów drewnianych w zbyt ogólny sposób. W naszych wstępnych badaniach okazało się, że biorąc pod uwagę kilka zmiennych, takich jak średnica, wilgotność, gatunek badanego pala drewnianego nie jesteśmy w stanie precyzyjnie zaprojektować ładunku, który spowodowałby zniszczenie elementu drewnianego. W pracy przeprowadzono testy ściskania brzozy, dębu i sosny w trzech kierunkach w celu zdefiniowania ortotropowych modeli konstytutywnych na użytek modelowania kontaktowego wybuchu kłód drewnianych. Przeprowadzono analizy metody elementów skończonych kłód z wykorzystaniem cylindrycznych ładunków wybuchowych dla wybranych gatunków drewna oraz obliczono wartości niszczące dla różnych średnic. Wyniki numeryczne dla różnych kryteriów energii zniszczenia drewna przedstawiono z wynikami pochodzącymi z instrukcji wojskowych.

SŁOWA KLUCZOWE: testy poligonowe, inżynieria wojskowa, modelowanie zniszczenia, ortotropia, kontaktowy ładunek wybuchowy

1. Wprowadzenie

Pomimo możliwości wykorzystywania bardziej wytrzymałych materiałów takich jak stal czy beton, istnieją zastosowania i sytuacje, w których tylko drewno może być użyte. Jednym z nich jest inżynieria wojskowa, która wykorzystuje głównie lokalnie dostępne materiały.

Właściwości drewna dla szczególnych zastosowań powinny być poprawnie zidentyfikowane zgodnie z charakterem obciążenia i zjawiskami, które należy uwzględnić (np. anizotropia). Projektując konstrukcje nośne z drewna, właściwości statyczne różnych rodzajów drewna można uzyskać z badań wytrzymałości statycznej znormalizowanych próbek. Takie badania można również znaleźć w literaturze. W pracach Keunecke i in. [1] opisywano właściwości sprężyste materiałów drewnianych. Zostały określone przez fale ultradźwiękowe. Testy dynamiczne są trudniejsze do wykonania, ale nadal są często przeprowadzane. Na przykład Bragov i Lomunov [2] opisali dynamiczne testy drewna metodą koła. Ta metodologia badawcza umożliwiła określenie właściwości materiału przy wysokich szybkościach odkształceń. W badaniu założono, że podczas odkształcenia plastycznego próbki na obu końcach znajdowałyby się w stanie równowagi sił. Teoria propagacji fali sprężystej została wykorzystana do określenia związku między naprężeniem, a odkształceniem. W wyniku badań uzyskano dynamiczne deformacje sosny, brzozy i lipy. Odkryto też, że kierunek cięcia wpływa na właściwości mechaniczne badanego drewna [2].

Pomijając statyczne i dynamiczne właściwości drewna, występują również inne zjawiska, które muszą być brane pod uwagę przy wykorzystywaniu drewna, są to uszkodzenia i wady materiału. W literaturze znajdziemy wiele prac na ten temat, jednak zwykle nie badane jest surowe drewno, ani konstrukcje z drewna, a materiały na

bazie drewna lub drewnopochodne. Dla przykładu Hussein et al. opisywał wpływ fali uderzeniowej na ścianę wypełnioną piaskiem z okładzinami z płyt OSB [4], gdzie stwierdzono znaczne zmniejszenie wpływu fali uderzeniowej na potencjalnie chroniony obiekt [5]. Badano również m.in. połączenia różnych spoiw szklanych z drewnem i sprawdzono stopień uszkodzenia spoiny kolejowej [6].

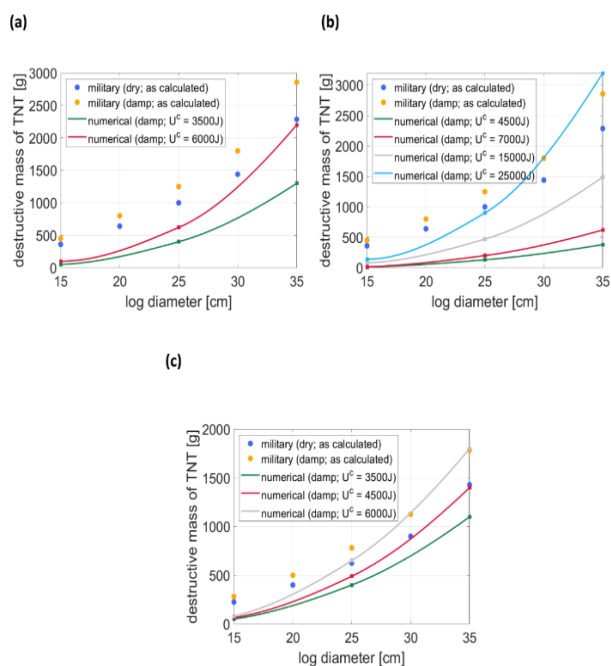
2. Metody i materiały

Badanie, które zostało przeprowadzone w pracy określa między innymi właściwości sprężyste brzozy, dębu i sosny. Poniższa tabela przedstawia właściwości sprężyste wybranych gatunków drewna pozyskane z literatury. Należy zwrócić uwagę na rozbieżności wartości występujących dla różnych gatunków drewna. W związku z tym zdecydowano się przeprowadzić badania własne.

Tabela 1. Różne właściwości sprężyste wybranych gatunków drewna dostępne w literaturze [1],[4],[7] i [8]

reference	wood	ρ [kg/m ³]	moistur e [%]	E_t/E_l [MPa]	$\nu_{lt}/\nu_{ll}/\nu_{tl}$ [-]	$G_{lt}/G_{ll}/G_{tl}$ [MPa]
Wilczyński, Gogolin [1989]	Pine	480	12	11700/940/410	0.32/0.41/0.018	950/780/105
	Beech	640	12	14700/1640/950	0.37/0.051/0.041	1220/1100/360
	Oak	700	12	13800/1990/200	0.36/0.069/0.039	1.7/1.02/0.22
Hussein, Heyliger and Mahmoud [2020a]	OSB	700	-	5839/5827/130	-	2330/260/120
Van de Kullen and Sandhass [2013]	Spruce	-	-	11000/370/370	-	690/690/50
	Breech	-	-	13000/860/860	-	810/810/59
	Azobé	-	-	20000/1330/1330	-	1250/1250/91
Mirianon, Fortino and Toratti [2008]	Spruce	450	13	12000/600/600	0.558/0.038/0.015	700/700/40
	Pine	550	13	12000/900/500	0.558/0.038/0.015	700/700/40
Keunecke, Sonderegger, Pereteanu, Luthi, Niemz [2006]	Norway Spruce	400	11	13800/1800/1170	-	617/587/51
	Yew	650	11	16700/4180/2300	-	1740/1650/368

Przeprowadzono testy ściskania brzozy (*Betula verrucosa* Ehrh), dębu (*Quercus robur* L.) oraz drewna sosnowego (*Pinus sylvestris* L.) w celu określenia modułu sprężystości drewna w trzech kierunkach, promieniowym, stycznym i wzdłużnym. Do uzyskania właściwości mechanicznych tych gatunków drewna wykorzystano polskie normy PN-D-04102:1979 i PN-D-04229:1997. Pierwsza norma określa procedurę doświadczalną do prób drewna ściskanego wzdłuż słojów (kierunek wzdłużny), podczas gdy druga norma standaryzuje testy drewna ściskanego w płaszczyznach przekroju (kierunek promieniowy i styczny).



Rys. 1. Niszczące masy TNT względem różnych średnic kłód dla (a) brzozy, (b) dębu i (c) sosny obliczone wg wytycznych inżynierii wojskowej oraz symulacji numerycznych

3. Wyniki badań

Zaobserwowano, że wartości dobierania wagomiarów materiałów wybuchowych obliczone na podstawie instrukcji wojskowych są zwykle zawyżone, niż oszacowanie numeryczne. Rozbieżność ta jest szczególnie wyraźna w przypadku kłód o średnicy 25 cm i mniejszej. Dla większych średnic szacunki numeryczne i wartości wojskowe są bardziej zbliżone. W przypadku brzozy wartości te są zawsze niższe.

Uzyskane wyniki prowadzą do wniosku, że konieczne jest określenie kryteriów energii uszkodzeń dla poszczególnych gatunków drewna. Tylko wtedy modelowanie numeryczne może być wykorzystane jako rzetelne narzędzie do szacowania niszczących obciążeń elementów drewnianych w wybuchach kontaktowych. Przyszłe badania będą poświęcone określeniu kryteriów energii uszkodzeń. W testach terenowych rozważane będą różne gatunki drewna w celu potwierdzenia lub odrzucenia wstępnej hipotezy, że wojskowe tradycyjne podejście istotnie przewyższa niezbędny ładunek niszczący.

4. Podsumowanie

W badaniu wzięto pod uwagę trzy gatunki drewna. Przeprowadzono analizę literatury pod kątem dostępności danych materiałowych; w związku z ich brakiem wykonano własne badania statyczne. Wykonano obliczenia doboru wagomiarów materiałów wybuchowych wg instrukcji wojskowych oraz odpowiadające im obliczenia numeryczne.

Wzory z literatury wojskowej istotnie zawyżają wyniki wagomiarów niszczących elementy drewniane. Zmiana stosowanych przeliczeń może mieć znaczny wpływ na zmniejszenie wykorzystywania materiału, z jednoczesnym zachowaniem zamierzonych efektów. Główny cel i dalszy kierunek badań to odkrycie energii niszczącej dla wybranych gatunków drewna, co będzie możliwe przy wspólnym wykorzystaniu przedstawionego w niniejszej pracy modelu numerycznego kontaktowych detonacji kłód i wyników niszczących badań poligonowych.

Literatura

- [1] Keunecke D, Sonderegger W, Pereteanu K, Luthi T, Niemz P. (2007) Determination of Young's and shear moduli of common yew and Norway spruce by means of ultrasonic waves. *Wood Science and Technology* (41), <https://doi.org/10.1007/s00226-006-0107-4>
- [2] Bragov AM, Lomunov AK. (1997) Dynamic properties of some wood species 08.
- [3] Zhou J, Chui YH, Gong M, Hu L. (2017) Elastic properties of full-size mass timber panels: Characterization using modal testing and comparison with model predictions. *Composites Part B* 112: 203-212. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.12.027>
- [4] A. Hussein, H. Mahmouda, Paul Heyliger, "Probabilistic analysis of a simple composite blast protection wall system", *Engineering Structures*, 2020 (15). <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109836>
- [5] A.Hussein, P. Heyliger, H. Mahmoud, "Structural performance of a wood-sand-wood wall for blast protection" s.7, *Engineering Structures*, 219 (2020).
- [6] Blyberg L, Serrano E, Enquist B, Sterley M. (2012) Adhesive joints for structural timber/glass applications: Experimental testing and evaluation methods. *International Journal of Adhesion&Adhesives*, 35: 76-87. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2012.02.008>
- [7] A. Wilczyński, M. Gogolin "Badanie właściwości sprężystych drewna sosny, dębu i buku" s. 104-106 (in Polish), "Investigation of elastic properties of pine, oak and beech wood" (translated title). <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110954>
- [8] Sandhaas C, van de Kuilen JWG. (2013) Material model for wood pp.185, Article in *Heron*.
- [9] F. Mirianon, S. Fortino, T. Toratti, "A method to model wood by using ABAQUS finite element software", s. 23 2008 r.