

Analiza kompozytowej belki stal-OSB

Analysis of a composite steel-OSB beam

dr hab. inż. Anna Derlatka (ORCID: 0000-0002-6509-2706), prof. PCz, Politechnika Częstochowska

DOI 10.5604/01.3001.0053.8500

Streszczenie: W niniejszej pracy zaproponowano nowy typ belki kompozytowej stal-OSB, która składa się z cienkościennych blach stalowych i płyt OSB. Elementy belki połączono za pomocą klejenia. Głównym celem badań było numeryczne i eksperymentalne wyznaczenie nośności na zginanie innowacyjnej belki zespolonej stal-OSB. Dokonano parametryzacji szerokości i wysokości przekroju poprzecznego belki. Na podstawie wyników analiz określono, że o nośności belek, o stosunku szerokości do wysokości od 1:4 do 1:5, decyduje obciążenie w zakresie naprężeń krytycznych bez zwichrzenia.

Słowa kluczowe: belka zespolona, stal, płyty OSB, MES, ADINA system.

Abstract: In this study, a new type of steel-OSB beam, which consisted of thin-walled steel sheets and oriented strand boards, was proposed. The beam components were joined using adhesive bonding. The main objective of this research was the numerical and experimental determination of the bending resistance of the innovative steel-OSB beam. The width and height of the cross-section of the beam were parameterized. It was proven that the load capacity of beams with a width to height ratio of 1:4 to 1:5 is determined by the load in the range of critical stresses without buckling.

Keywords: composite beam, steel, OSB boards, MES, ADINA system.

1. Wprowadzenie

Konstrukcje cienkościenne mają wysoką nośność, mimo niewielkiej grubości [1–3]. Za największą wadę struktur cienkościennych uznawane jest wyboczenie. Wyniki badań mających na celu ograniczenie tego problemu przedstawiono w [3], gdzie zaproponowano rozwiązanie belki zespolonej aluminiowo-drewnianej. Możliwości usztywnienia środka dwuteowej belki aluminiowej za pomocą pianki poliuretanowej przedstawiono w artykułach [4, 5]. Autorzy pracy [6] przedstawili możliwość poprawy własności wyboczeniowych elementów stalowych giętych na zimno poprzez łączenie ich z laminatami drewnianymi lub z płytami forniru klejonego warstwowo [7]. Nietypowe zastosowanie płyt OSB zaprezentowano w [8], ponieważ płyty OSB wykorzystano do wypełnienia zimno giętego ceownika stalowego.

2. Realizacja programu badawczego

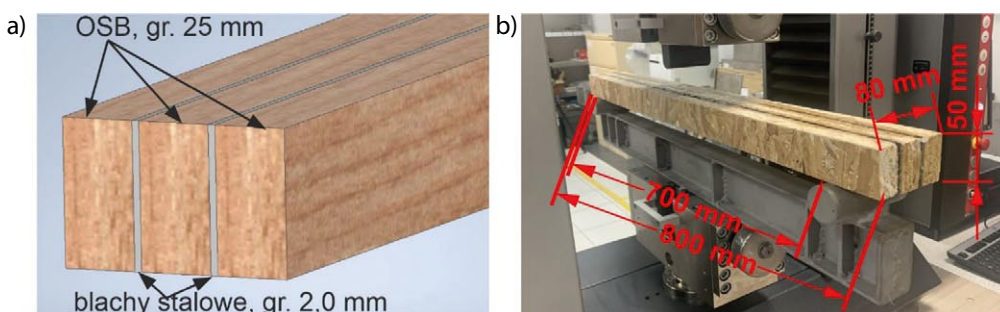
Głównym celem tych badań było numeryczno-doświadczalne określenie nośności na zginanie innowacyjnej belki zespolonej stal-OSB.

2.1. Belka referencyjna

W celu wykonania walidacji modelu numerycznego

Rys. 1. Belka referencyjna:

a) projekt, b) próba trójpunktowego zginania



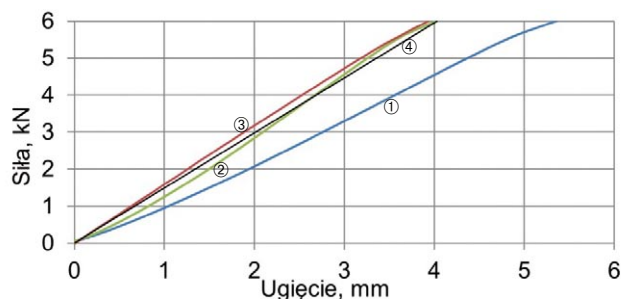
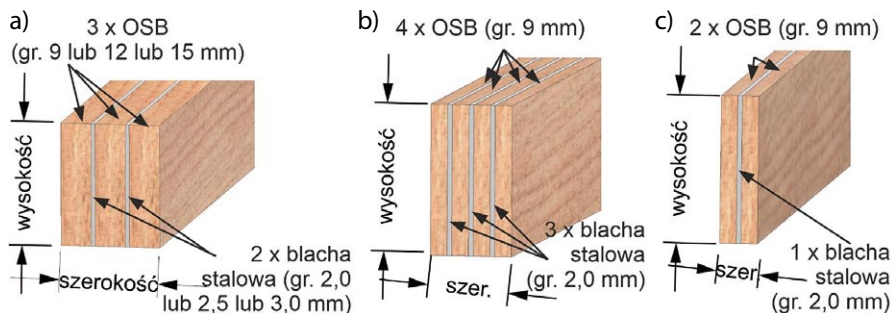
wykonano belkę referencyjną, którą zbadano eksperymentalnie, a szczegółowe wyniki zaprezentowano w [9]. Belka referencyjna składa się z pięciu warstw: 2 blach stalowych o grubości 2,0 mm i 3 płyt OSB o grubości 25 mm (rys. 1). Blachy oraz płyty OSB połączono naprzemiennie za pomocą kleju polimerowego. Do zbudowania belki referencyjnej zastosowano gatunek stali S235. Jej właściwości zbadano eksperymentalnie, a szczegółowe wyniki zamieszczono w pracy [9]. Belkę poddano próbie trójpunktowego zginania.

2.2. Parametryzacja belki zespolonej stal-OSB

Pierwszym parametrem parametryzacji była szerokość przekroju poprzecznego belki. Grubość rozważanych blach wynosi 2,0, 2,5 i 3,0 mm, natomiast grubość płyt OSB była równa 9, 12 i 15 mm. Pojedyncza belka została zbudowana z 2 blach i 3 płyt OSB (rys. 2a). Ponadto, przeanalizowano belki zbudowane z 3 warstw: 1 blachy i 2 płyt OSB (rys. 2c) oraz z 7 warstw: 3 blach i 4 płyt OSB (rys. 2b). Drugim parametrem parametryzacji była wysokość przekroju poprzecznego belki. Zestawienie belek zamieszczono w tabeli 1. Do parametryzacji zastosowano gatunek stali S355.

Rys. 2. Przekrój sparametryzowanej belki zbudowanej z: a) 2 blach i 3 płyt OSB, b) 3 blach i 4 płyt OSB, c) 1 blachy i 2 płyt OSB

Narzędziem do parametryzacji belek był model numeryczny oparty o metodę elementów skończonych. Belki poddawano próbie trójpunktowego zginania. Za punkt krytyczny przyjmowano stan, w którym naprężenia kierunkowe w części stalowej belki były równe granicy plastyczności zastosowanej stali. Dla każdej z analizowanych wysokości przekroju numerycznie wyznaczano siłę krytyczną przy zwichrzeniu. Dokonano weryfikacji maksymalnej siły w zakresie sprężystym oraz siły krytycznej przy zwichrzeniu. Mniejszą z nich przyjmowano jako nośność belki kompozytowej stal-OSB.



- ① Eksperyment (bez sztywności maszynny)
- ② Eksperyment (ze sztywnością maszynny)
- ③ Obliczenia numeryczne
- ④ Linia trendu (eksperyment ze sztywnością maszynny)

Rys. 4. Porównanie wyników ze zginania belki referencyjnej

Tabela 1. Belki zespolone stal-OSB będące przedmiotem badań

Nr	Szerokość przekroju, mm	Liczba blach	Grubość blachy stalowej, mm	Liczba płyt OSB	Grubość płyt OSB, mm
B3	51	2	3,0	3	15,0
B6	42	2	3,0	3	12,0
B10	31	2	2,0	3	9,0
B11	32	2	2,5	3	9,0
B12	33	2	3,0	3	9,0
B13	20	1	2,0	2	9,0
B16	42	3	2,0	4	9,0

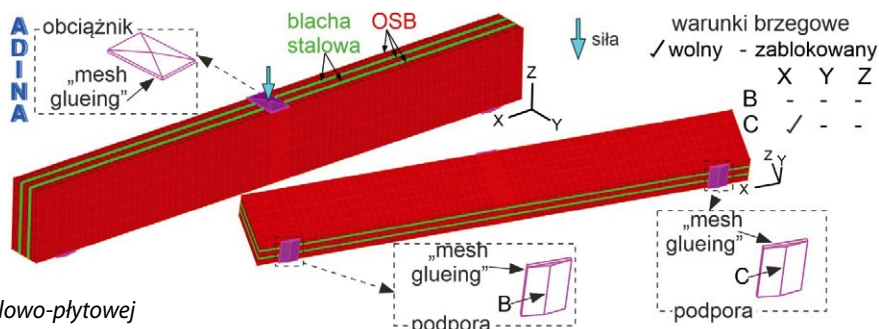
2.3. Model numeryczny

Obliczenia numeryczne wykonano za pomocą programu ADINA System [10]. Zarys modelu numerycznego belki stal-OSB przedstawiono na rysunku 3. Zastosowano analizę nieliniową, uwzględniającą duże przemieszczenia i odkształcenia. Materiały, z których wykonano belkę, zostały opisane w modelu dwuliniowym materiałem plastycznym. Wykorzystano elementy skończone typu 3D-solid. Elementy skończone blach i płyt OSB połączono za pomocą wspólnych węzłów. Podpory oraz obciążnik połączono z belką za pomocą oddziaływania typu „mesh glueing”.

3. Walidacja modelu numerycznego

Zestawienie krzywych z próby trójpunktowego zginania referencyjnej belki zespolonej stal-OSB przedstawiono na rysunku 4. Zgodność wyników doświadczalnych oraz numerycznych uznano za właściwą. Należy zwrócić uwagę, że uwzględnienie sztywności maszyny wytrzymałościowej ma duże znaczenie podczas badań nośności na zginanie.

Rys. 3. Model numeryczny zespolonej belki stalowo-płytowej

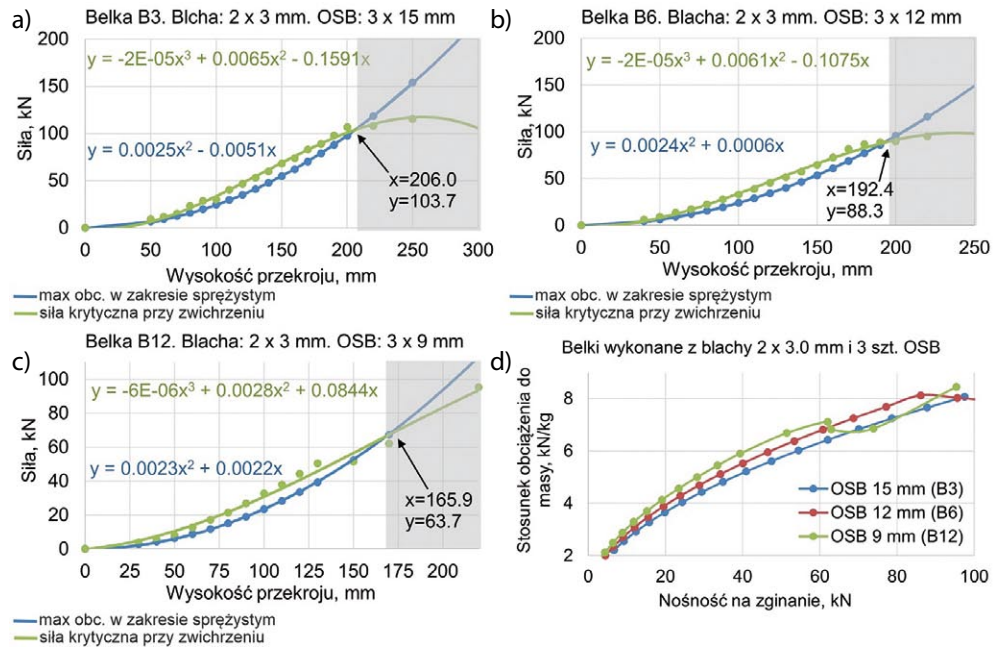


4. Wyniki parametryzacji i dyskusja

4.1. Grubość płyty OSB

Na rysunku 5 przedstawiono zależności pomiędzy wysokością przekrojów a siłą przeniesioną przez belki wykonane z 2 stalowych blach o grubości 3,0 mm oraz 3 płyt OSB o grubości 15 mm (belka B3, rys. 5a), 12 mm (belka B6, rys. 5b) i 9 mm (belka B12, rys. 5c). W belce B12 (OSB o grubości 9 mm) nośność w zakresie naprężeń krytycznych bez zwichrzenia wynosi 63,7 kN. W belkach B3 i B5 (OSB o gr. 15 mm i 12 mm) nośności w zakresie naprężeń krytycznych bez zwichrzenia wynoszą odpowiednio 88,3 kN i 103,7 kN. Nośność w zakresie naprężeń krytycznych bez zwichrzenia wykazują belki o wysokości stanowiącej 4-krotność szerokości belki z OSB 15 mm (B3), 4,6-krotność szerokości belki z OSB 12 mm (B6), 5-krotność szerokości belki z OSB 9 mm (B12). Podczas analizy nośności belek pod uwagę należy również wziąć stosunek obciążenia do ciężaru własnego (rys. 5d).

Rys. 5. Wykres przedstawiający zależność: a) siły od wysokości przekroju dla belki B3, b) siły od wysokości przekroju dla belki B6, c) siły od wysokości przekroju dla belki B12, d) stosunku obciążenia do masy od nośności na zginanie



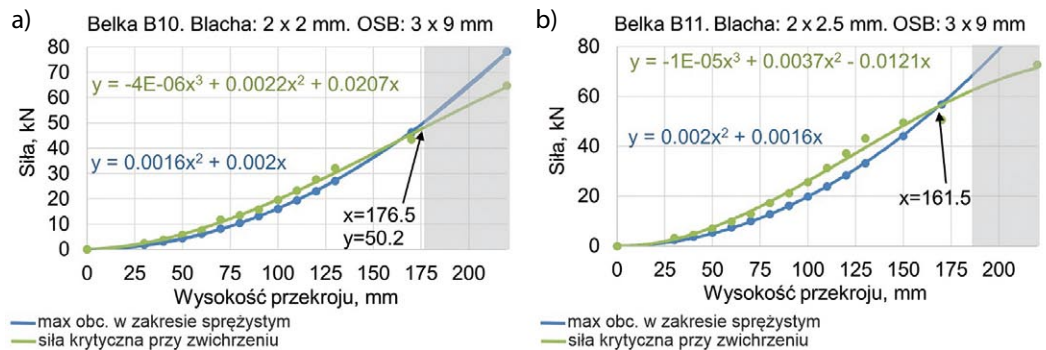
Przy obciążaniu w zakresie 0-63,7 kN największym stosunkiem obciążenia do masy charakteryzuje się belka wykonana z OSB o grubości 9 mm (B12). Przy obciążeniu powyżej 63,7 kN największy stosunek obciążenia do masy wykazuje belka wykonana z płyty OSB o grubości 12 mm (B6).

W analizowanych belkach kompozytowych stal-OSB największy udział w przenoszeniu obciążeń mają blachy stalowe. Płyty OSB jedynie usztywniają płyty stalowe i zabezpieczają przed lokalną utratą stateczności. W związku z tym, w belkach o identycznych grubościach blach lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie cienkich płyt OSB, czyli 9 mm. Zwiększenie grubości OSB do 12 czy 15 mm wpływa na zwiększenie ciężaru własnego belek, ale nie zwiększając znacząco nośności belek.

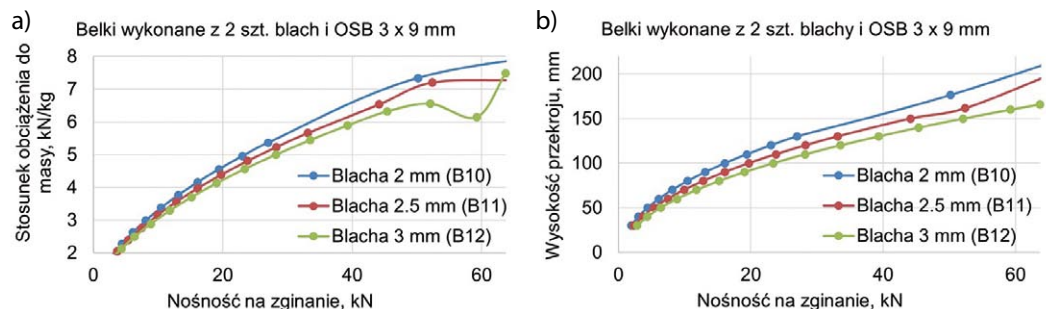
4.2. Grubość blachy stalowej

Zależności pomiędzy wysokością przekrojów belek a ich nośnością w zależności od grubości blachy przedstawiono na rysunku 6. Analizowano wyniki dla belek zbudowanych z 2 stalowych blach

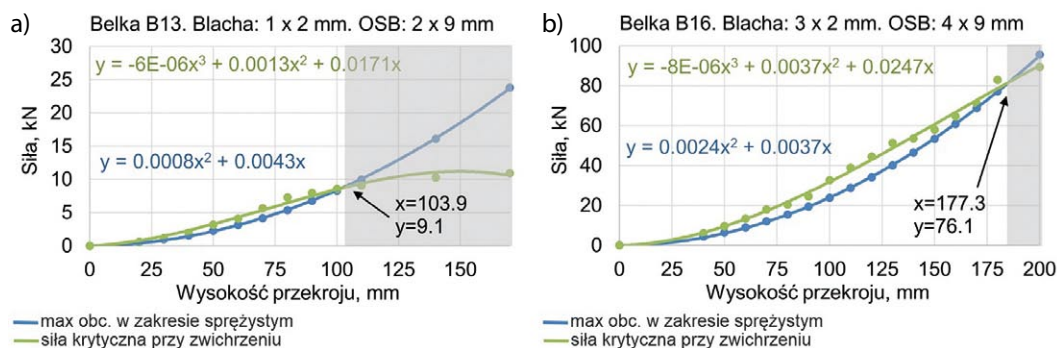
Rys. 6. Wykres przedstawiający zależność siły od wysokości przekroju dla belki: a) B10, b) B11



Rys. 7. Wpływ grubości blachy na zależności: a) nośność na zginanie – stosunek obciążenia do masy, b) nośność na zginanie – wysokość



Rys. 8. Wykres przedstawiający zależność siły od wysokości przekroju dla belki: a) B13, b) B16



wysokość przekroju w znacznie większym stopniu decyduje o nośności na zginanie niż jego szerokość. Z rysunku 7b wynika, że nawet niewielki wzrost wysokości przekroju, znacznie korzystniej wpływa na nośność na zginanie, niż zwiększenie grubości blach.

4.3. Liczba blach

W poprzednich rozdziałach udowodniono, że optymalne belki 5-warstwowe są zbudowane z płyt OSB o grubości 9 mm oraz blach o grubości 2 mm (B10). Dlatego przeanalizowano również belki zbudowane z 3 warstw: 1 blachy o grubości 2,0 mm i 2 płyt OSB o grubości 9 mm (B13, rys. 8a) oraz belki zbudowane z 7 części: 3 blach o grubości 2,0 mm i 4 płyt OSB o grubości 9 mm (B16, rys. 8b). W belce B13 nośność w zakresie naprężeń krytycznych bez zwichrzenia wyniosła 9,1 kN. Wartość ta stanowi jedynie 18% nośności belki B10. W belce B16 nośność w zakresie naprężeń krytycznych bez zwichrzenia wyniosła 76,1 kN, czyli o 52% więcej niż w belce B10.

Zweryfikowano również wpływ liczby blach na wskaźnik obciążenia do masy (rys. 9). Najwęższa belka (B13) charakteryzuje się największym wskaźnikiem obciążenia do masy. Mimo tego może być ona wykorzystywana jedynie w aplikacjach, gdzie obciążenie nie przekracza 9,1 kN. Dlatego belkę B10 wykonaną z 2 blach i 3 płyt OSB uznano za najbardziej efektywną, ponieważ może ona przenieść znacznie większe obciążenie niż belka zbudowana z 3 warstw. Nawet jeśli przekrój belki 5-warstwowej znajduje się w zakresie naprężeń krytycznych ze zwichrzeniem, czyli jest ona poddana obciążeniu o wartości powyżej 50,2 kN, wykazuje

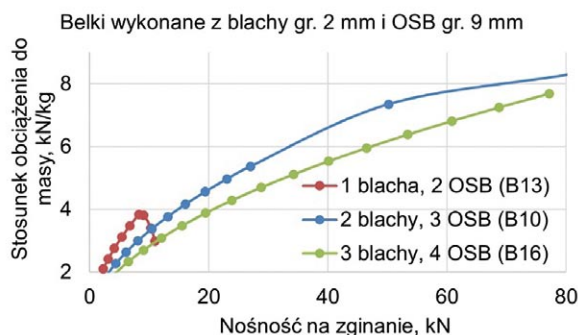
ona większy wskaźnik obciążenia do masy niż belka zbudowana z 7 warstw.

5. Podsumowanie

- Nośność belek zależy głównie od wysokości przekroju. Dlatego największy wskaźnik obciążenia do masy wykazują belki zbudowane z najcieńszych płyt OSB (o grubości 9 mm) oraz najcieńszych blach (o grubości 2,0 mm).
- Za najbardziej efektywny przekrój belki kompozytowej stal-OSB uznano belkę zbudowaną z 5 warstw: 2 blach o grubości 2,0 mm oraz 3 płyt OSB o grubości 9 mm.
- Nośność w zakresie naprężeń krytycznych bez zwichrzenia wykazują belki stal-OSB o stosunku szerokości do wysokości od 1:4 do 1:5.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ye J., Hajirasouliha I., Becque J., Experimental investigation of local-flexural interactive buckling of cold-formed steel channel columns, *Thin-Walled Structures* 125, 2018, str. 245–258, doi:10.1016/j.tws.2018.01.020
- [2] Pozorski Z., Pozorska J., Kreja I., Smakosz Ł., On Wrinkling in Sandwich Panels with an Orthotropic Core. *Materials* (Basel, Switzerland), 14(17)2021, str. 5043, doi:10.3390/ma14175043
- [3] Chybiński M., Polus Ł., Experimental and numerical investigations of aluminium-timber composite beams with bolted connections, *Structures* 34, 2021, str. 1942–1960, doi:10.1016/j.istruc.2021.08.111.
- [4] Lacki P., Derlatka A., Influence of PU foam reinforcement of I-beam on buckling resistance, *Composite Structures* 202, 201, str. 201–209, doi:10.1016/j.compstruct.2018.01.050
- [5] Lacki P., Derlatka A., Winowiecka J., Analysis of the composite I-beam reinforced with PU foam with the addition of chopped glass fiber, *Composite Structures* 218, 2019, str. 60–70, doi:10.1016/j.compstruct.2019.03.036
- [6] Awaludin A., Rachmawati K., Aryati M., Danastri AD., Development of Cold Formed Steel – Timber Composite for Roof Structures: Compression Members, *Procedia Engineering*, 125, 2015, str. 850–856, doi:10.1016/j.proeng.2015.11.052
- [7] Wang X., Zhang J., Wu P., Li Y., Experimental investigation on the flexural and shear behaviour of LVL I-beam strengthened with steel channels. *Construction and Building Materials*, 341, 2022, str. 127719, doi:10.1016/j.conbuildmat.2022.127719
- [8] S. H. M. Sani M., Muftah F., Osman A. R., A Review and Development of Cold-formed Steel Channel Columns with Oriented Strand Board Sections, *Materials Today: Proceedings*, 17, 2019, str. 1078–1085, doi:10.1016/j.matpr.2019.06.519
- [9] Derlatka A., Lacki P., Więckowski W., Kasza P., Pomada M., Experimental tests of bonded steel-OSB composite beam, *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej*, 178(28)2022, str. 7–12, doi:10.17512/znb.2022.1.01
- [10] ADINA System Online Manuals, ADINA R&D, Inc., 2020



Rys. 9. Wpływ liczby blach na zależność: nośność na zginanie – stosunek obciążenia do masy