

# Badania wytrzymałościowe nowych paneli kompozytowych w budownictwie mieszkaniowym

Mgr inż. Łukasz Smakosz, prof. dr hab. inż. Jacek Tejchman, Politechnika Gdańska

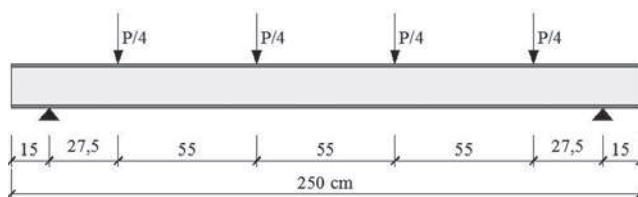
## 1. Wprowadzenie

Projekty konstrukcyjne domów mieszkalnych mogą być ulepszone poprzez zastosowanie materiałów kompozytowych, które wykorzystują różne pozytywne właściwości ich poszczególnych składników. Konstrukcyjno-izolacyjne panele SIP („structural insulated panels”) opracowane przed 75 laty są kompozytowymi elementami budowlanymi stosowanymi do stropów, ścian i dachów w budynkach mieszkalnych i przemysłowych. Są one wykonywane w zakładzie prefabrykacji i transportowane na miejsce budowy, gdzie są ze sobą montowane tworząc zwartą i energooszczędną bryłę budowlaną. Panele SIP są prostymi elementami kompozytowymi składającymi się z 3 warstw konstrukcyjnych: dwóch cienkich zewnętrznych sztywnych okładzin i jednego wewnętrznego grubego rdzenia. Warstwy zewnętrzne przenoszą naprężenia od zginania, a warstwa wewnętrzna przenosi naprężenia styczne, stabilizuje okładziny na wypadek wybożenia i zapewnia odpowiednią sztywność. Zwykle materiał rdzenia ma niższe właściwości mechaniczne niż okładki. Końcowy produkt kompozytowy ma jednak ulepszone i bardziej pożądane właściwości niż jego składniki osobno. Panele SIP były dotąd stosowane w budownictwie jako elementy wypełniające szkielet stalowy albo drewniany.

Przedmiotem naszych badań wytrzymałościowych jest nowy ścienny panel kompozytowy SIP o wymiarach  $1,0 \times 2,5 \text{ m}^2$  i ciężarze około 70 kg, który został opracowany w USA około 5 lat temu jako element wypełniający. Został wprowadzony na polski rynek budowlany przez firmę LS TECH Homes z Bielska-Białej w 2010 roku. Okładziny tego panelu stanowią sztywne płyty cementowo-magnezjowe zbrojone siatkami z włókna szklanego o grubości 11 mm, a rdzeń o grubości 152 mm wykonany jest ze styropianu (całkowita grubość panelu 174 mm). Elementy składowe panelu są połączone ze sobą klejem. Sąsiednie panele łączy się ze sobą na pióro i wpust za pomocą listew OSB i wkrętów, a do uszczelnienia połączeń stosuje się piankę montażową.

## 2. Badania wytrzymałościowe

W pierwszym etapie prac zrealizowano badania wytrzymałościowe normowe na elementach w naturalnej skali zgodnie z Wytycznymi do Europejskich Aprobatach Technicznych opisującymi wymagania stawiane lekkim panelom kompozytowym stosowanym jako elementy osłonowe oraz metody ich sprawdzania [1]. Badania doświadczalne wykonano w roku 2011 w Politechnice Gdańskiej. W ramach doświadczeń wykonano badania nośności na zginanie paneli swobodnie podpartych i paneli zamocowanych na łącznikach montażowych, które symulowały wpływ obciążenia równomiernie rozłożonego od ciężaru własnego i wiatru. Ponadto wykonano badania na uderzenie panelu ciałem miękkim i twardym, badania wpływu oddziaływania termicznego oraz badania na obciążenia od przedmiotów mocowanych.

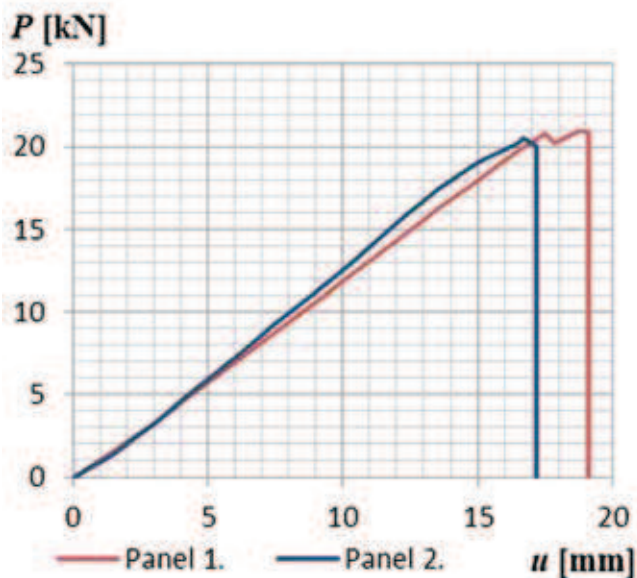


**Rys. 1.** Stanowisko i schemat statyczny do badania nośności na zginanie panelu kompozytowego swobodnie podpartego ( $P$  – pionowa siła skupiona)

W badaniach nośności na zginanie, obciążenie przyłożono do paneli za pomocą układu profili stalowych połączonych ze sobą przegubowo rozkładających działającą siłę skupioną na 4 obciążenia ciągłe skierowane prostopadłe do powierzchni (rys. 1). Pod profile stalowe ułożono podkładki gumowe, aby zapobiec lokalnemu zniszczeniu. Przyłożone obciążenie zwiększano stopniowo poprzez równomierny pionowy przesuw tłoka (sterowanie przemieszczeniem) aż do zniszczenia z prędkością 0,1–3 mm/min. W trakcie doświadczeń mierzono całkowitą siłę pionową działającą na panele oraz ich ugięcia.

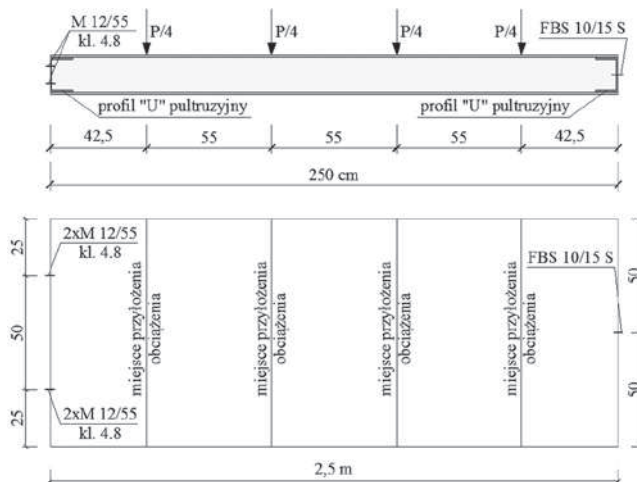
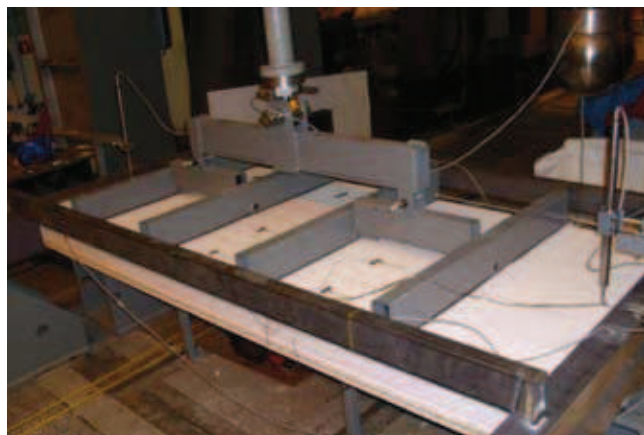


**Rys. 2.** Pęknięcie dolnej okładziny panelu swobodnie podpartego



**Rys. 3.** Pomierzone siły pionowe  $P$  w funkcji ugięcia  $u$  w środku paneli kompozytowych swobodnie podpartych dla dwóch różnych prędkości przemieszczenia pionowego  $v$  (1 -  $v=3,0$  mm/min., 2 -  $v=0,1$  mm/min.)

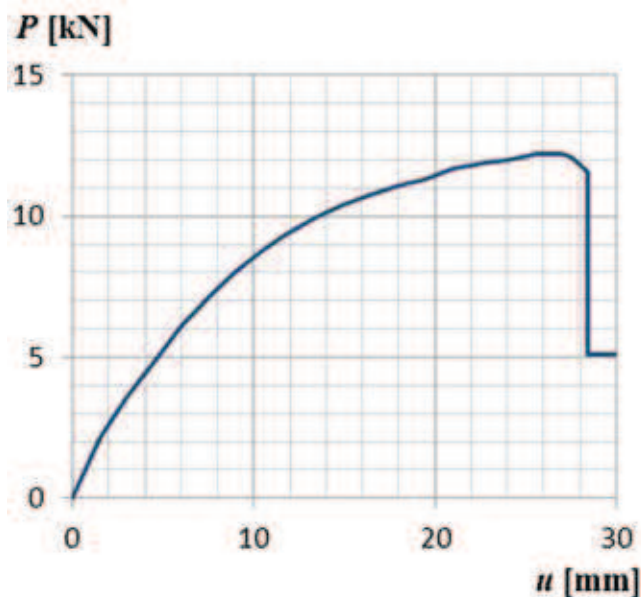
Doświadczenia z panelami swobodnie podpartymi wykonano dla dwóch różnych prędkości przemieszczenia pionowego: 0,1 mm/min. i 3,0 mm/min. Rozstaw podpór był równy 2,2 m. W obu doświadczeniach doszło do gwałtownego i niesygnalizowanego zniszczenia pa-



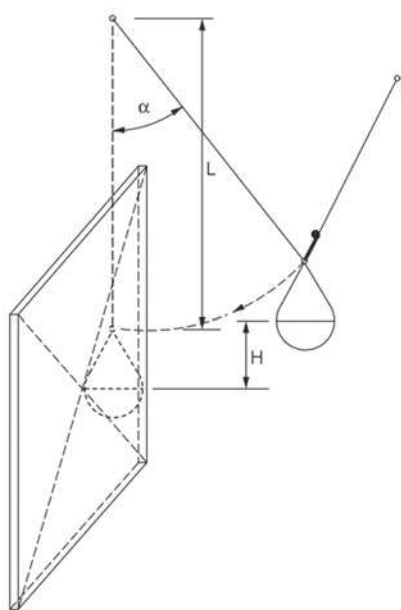
**Rys. 4.** Stanowisko i schemat statyczny do badania nośności na zginanie panelu zamocowanego na podporach przy zastosowaniu łączników montażowych

neli poprzez wyczerpanie wytrzymałości na rozciąganie dolnej okładziny (rys. 2). Nie zaobserwowano żadnych uszkodzeń między warstwami paneli. Maksymalna (niszcząca) siła pionowa wynosiła około 20 kN dla ugięcia 17–19 mm (rys. 3) i odpowiadała niszcącemu pionowemu obciążeniu powierzchniowemu 9,1 kN/m<sup>2</sup>. Badanie nośności na zginanie paneli zamocowanych na podporach za pomocą łączników montażowych wykonano na zmodyfikowanym stanowisku badawczym (rys. 4). Na krótszej krawędzi panelu zamocowano ceowniki wykonane z żywicy poliestrowej zbrojonej włóknami szklanymi, które zostały wstawione między okładziny i połączone z nimi na wkręty. Całe złącze zostało uszczelnione pianką montażową. Panel był połączony ze sztywną ramą stalową stanowiska badawczego jak w warunkach montażowych: jedna krawędź odpowiadała połączeniu z fundamentem poprzez pojedynczą śrubę FBS 10/15 S, a druga krawędź połączeniu ze stropem kondygnacji poprzez 4 śruby M 12/55 kl. 4.8. Rozstaw podpór w doświadczeniu wynosił 2,5 m.

Nieliniowa zależność pionowej siły od ugięcia w środku rozpiętości została przedstawiona na rysunku 5. Panel uległ zniszczeniu poprzez pęknięcie dolnej okładziny już przy obciążeniu równym 12 kN dla ugięcia 28 mm odpo-



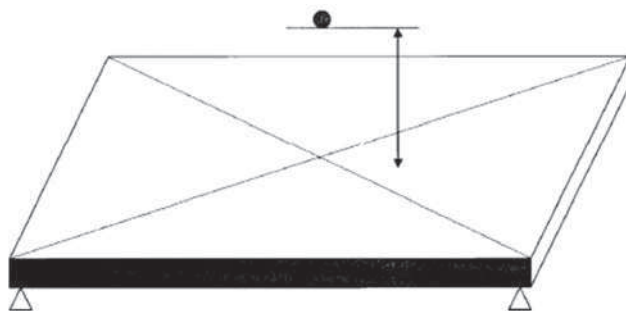
**Rys. 5.** Pomierzona siła pionowa  $P$  w funkcji ugięcia  $u$  w środku panelu mocowanego do podpór na łącznikach montażowych (prędkość przemieszczenia pionowego  $v=0,3$  mm/min.)



**Rys. 6.** Schemat doświadczenia dla uderzenia panelu ciałem miękkim [1]

wiadającemu pionowemu obciążeniu powierzchniowemu  $4,8$  kN/m<sup>2</sup>. Pomierzona mniejsza siła pionowa w porównaniu z panelem swobodnie podpartym spowodowana była większym rozstawem podpór i podatnym punktowym podparciem krawędzi na pojedynczej śrubie.

Badanie na uderzenie panelu ciałem miękkim przeprowadzono z uwagi na bezpieczeństwo użytkownika oraz przydatność użytkową. Ciało miękkie o masie  $50$  kg zawieszono na linie o długości  $1,4$ – $3,2$  m składała się z kulistej torby o średnicy  $400$  mm wypełnionej żwirem o średnicy  $2$ – $4$  mm (rys. 6). Ciało to zostało zrzucone z wysokości  $H=0,8$ – $1,8$  m z energią uderzenia równą  $400$ – $900$  Nm. Kąt między ścianą a ciałem miękkim był równy  $65^\circ$ . Badania przeprowadzono na ścianie złożo-



**Rys. 7.** Schemat doświadczenia na uderzenie panelu ciałem twardym

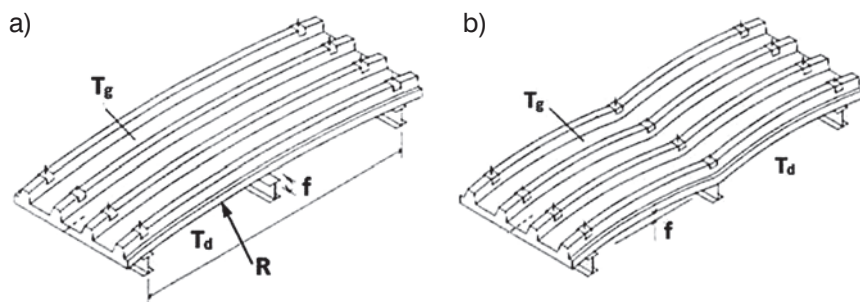
nej z trzech paneli wykonując pojedyncze uderzenie (z uwagi na bezpieczeństwo użytkownika) oraz trzy uderzenia (z uwagi na przydatność użytkową). Panele zmontowano zgodnie z dokumentacją techniczną producenta. Wykonane uderzenia nie pozostawiły na układzie paneli absolutnie żadnych śladów.

Badanie odporności paneli na uderzenie ciałem twardym przeprowadzono ze względu na bezpieczeństwo użytkownika, tj. sprawdzono czy panel może zapobiec przebiciu oraz ze względu na przydatność użytkową, tj. sprawdzono czy panel w dalszym ciągu zachowuje się zgodnie z założeniami (np. z uwagi na przepuszczalność pary wodnej). W badaniu związanym z bezpieczeństwem użytkownika uderzające ciało twarde było kulą stalową o średnicy  $63,5$  mm i masie  $1$  kg (rys. 7). W badaniu związanym z przydatnością użytkową była to kula stalowa o średnicy  $50$  mm i masie  $0,5$  kg. Badanie ze względu na przydatność użytkową przeprowadzono na panelu swobodnie podpartym wykonując trzy uderzenia. Punkt uderzenia znajdował się w środku płyty. Badanie ze względu na bezpieczeństwo użytkownika przeprowadzono wykonując pojedyncze uderzenie na tym samym układzie z punktem uderzenia po przeciwnej stronie panelu. Uderzające ciało twarde o masie  $m$  zostało zrzucone z wysokości  $H=1,02$ – $1,22$  m z energią uderzenia równą  $6$ – $10$  Nm.

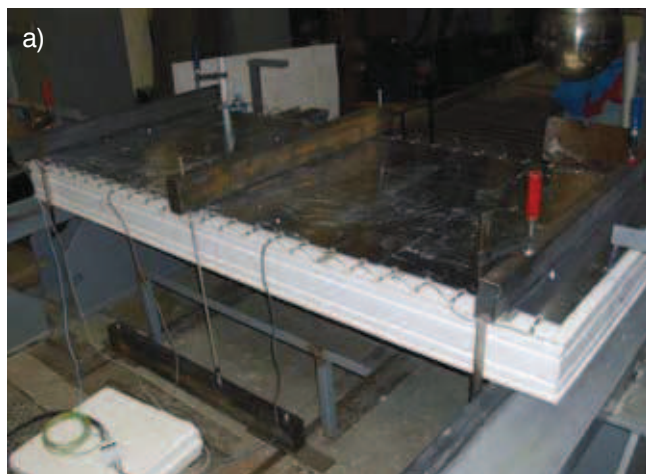
Wykonane uderzenia pozostawiły na badanym panelu niewielkie okrągłe wgniecenia o głębokości  $2$  mm i średnicy  $20$  mm dla badania na przydatność użytkową oraz o głębokości  $2$  mm i średnicy  $24$  mm dla badania na bezpieczeństwo użytkownika. Ciało uderzające nie przeszło przez okładkę od strony uderzenia i nie spowodowało oderwania fragmentów panelu o niebezpiecznym kształcie po stronie przeciwnej do strony uderzanej. Badanie nie spowodowało powstania żadnych pęknięć widocznych gołym okiem, wgnieceń, wypukłości lub innych defektów. Po badaniu układ paneli zachował swoją mechaniczną spójność.

Badanie oddziaływania termicznego na panel polegało na stopniowym ogrzewaniu powierzchni górnej płyty do temperatury  $T_g=80^\circ\text{C}$  (przyrost  $10^\circ\text{C}$  co  $5$  min.) przy jednoczesnym zachowaniu na powierzchni dolnej stałej temperatury  $T_d=23^\circ\text{C}$ . Badanie składało się z dwóch





**Rys. 8.**  
Schemat obciążenia termicznego dla panelu:  
a) faza I, b) faza II [1]



**Rys. 9.** Stanowisko do badań termicznych: a) układ grzałek, b) folia zabezpieczająca przed odpływem ciepła

faz (rys. 8). Faza pierwsza polegała na pomiarze ugięcia oraz promienia krzywizny panelu zamocowanego tylko na podporach skrajnych (rys. 8a) w funkcji różnicy temperatury. Faza druga polegała na pomiarze ugięcia przęseł i reakcji na podporze pośredniej w funkcji różnicy temperatury, gdy panel był zamocowany na trzech podporach (rys. 8b).

Stanowisko badawcze składało się z następujących elementów (rys. 9):

- nieodkształcalnej ramy stalowej oraz podpór skrajnych pozwalających na zamocowanie elementów w pozycji poziomej,
- podpory pośredniej połączonej z ramą poprzez siłomierz,

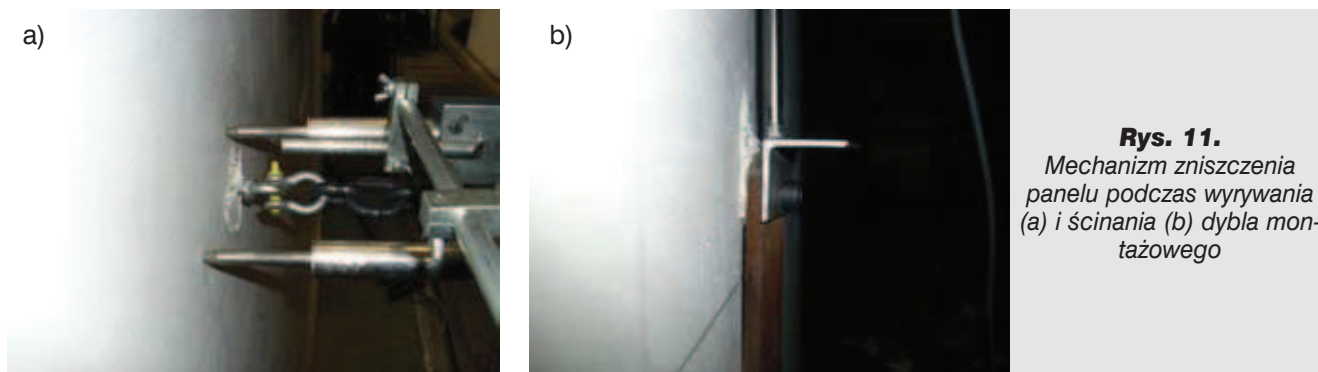
- zestawu 24 grzałek do sztucznego napromieniowania okładziny zewnętrznej panelu (rys. 9a),
- tkaniny termoizolacyjnej powstrzymującej odpływ gorącego powietrza (rys. 9b),
- 8 termopar stykowych na górnej i dolnej okładzinie panelu do pomiaru temperatury.

Promień krzywizny przy różnicy temperatur  $57^{\circ}\text{C}$  wynosił 320 m, a maksymalne ugięcie 1,9 mm. Reakcja na podporze pośredniej była równa 680 N dla ugięcia 0,5 mm.

W badaniach wytrzymałości panelu na obciążenia mocowanymi do niego przedmiotami obciążenia pionowe i poziome przyłożono do panelu poprzez pojedynczy dybel montażowy typu MOLLY. Badanie panelu z obciążeniem poziomym prostopadłym do powierzchni wy-



**Rys. 10.** Stanowisko do badań wytrzymałości na obciążenia przedmiotami mocowanymi do panelu: a) badanie na ścianie, b) badanie na połówce panelu



**Rys. 11.**  
Mechanizm zniszczenia panelu podczas wrywania (a) i ścinania (b) dybla montażowego

konano na dwóch połówkach panelu oraz na układzie złożonym z trzech paneli zamocowanym do sztywnej stalowej ramy (rys. 10).

Zniszczenie paneli miało zawsze charakter lokalny – zniszczeniu uległa okładzina cementowo-magnezjowa w najbliższym sąsiedztwie punktu przyłożenia obciążenia (rys. 11). W trakcie badania wstępnego dybel montażowy uległ zniszczeniu (nastąpiło ścięcie gwintu fabrycznego) już przy obciążeniu 0,3 kN ustawionym prostopadłe do powierzchni panelu. Dalsze próby wy-

trzymałościowe przeprowadzono więc na łącznikach z nowym wzmocnionym gwintem. Pojedynczy wzmocniony dybel umieszczony w panelu został wyrwany siłą 1,7–1,8 kN i ścięty siłą 2,5–3,5 kN (rys. 12).

### 3. Wnioski

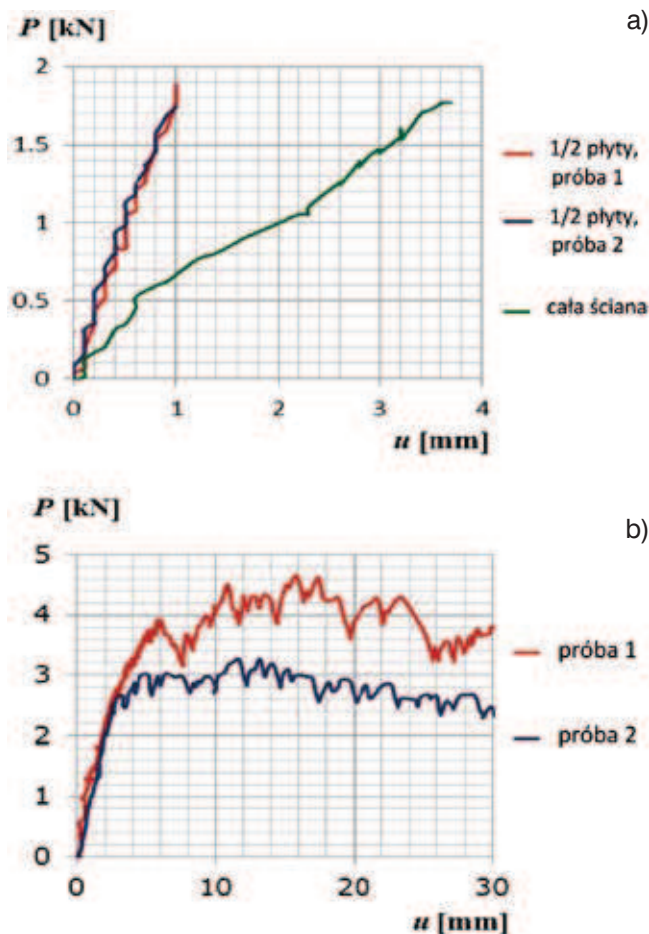
Z badań nośności na zginanie paneli kompozytowych SIP o wymiarach  $1,0 \times 2,5 \text{ m}^2$  i grubości 17,4 cm swobodnie podpartych oraz zamocowanych na podporach łącznikami montażowymi wynika, że panele przenoszą obciążenie równomierne prostopadłe do powierzchni większe od normowego obciążenia wiatrem. Panel swobodnie podparty o rozstawie podpór 2,2 m przenosi maksymalną siłę prostopadłą do powierzchni równą 20 kN, natomiast panel mocowany na krawędziach zgodnie z warunkami montażu przenosi 12 kN dla rozstaw podpór 2,5 m.

Panele mają bardzo dobrą odporność na uderzenia. Badanie na uderzenie ciałem miękkim nie powoduje żadnych widocznych uszkodzeń powierzchni paneli, zaś niewielkie wgniecenia, które powstają w wyniku uderzenia ciałem twardym nie mają żadnego wpływu na przydatność paneli do dalszego użytkowania.

Ugięcie paneli wywołane różnicą temperatur wynosi tylko 0,08% odległości między punktami mocowania i jest niewidoczne gołym okiem.

Uszkodzenia przy obciążaniu przedmiotami mocowanymi do paneli za pomocą dybla występują tylko w okładzinach cementowo-magnezjowych i mają charakter lokalny.

Ze względu na bardzo dobre parametry wytrzymałościowe panele mogą być stosowane nie tylko jako elementy wypełniające szkielet nośny konstrukcji budynków, lecz również jako elementy nośne na obciążenia prostopadłe do powierzchni. Inne ich zalety to: niski ciężar własny, prosty i szybki montaż, ognioodporność, odporność na korozję biologiczną oraz dobra izolacyjność cieplna.



**Rys. 12.** Wyniki badania na wrywanie (a) i ścinanie (b): siła w dyblu montażowym w funkcji jego przemieszczenia

#### BIBLIOGRAFIA

[1] European Organization for Technical Approvals EOTA. ETAG 016: Guideline for European Technical Approval of Self-Supporting Composite Lightweight Panels, 2005