

BADANIE DOŚWIADCZALNE STROPU TERIVA PANEL – obciążenia doraźne

Artur KISIOŁEK
Łukasz DROBIEC
Radosław JASIŃSKI
Wojciech MAZUR
Jakub ZAJĄC



Spis treści

1.1	Informacja o firmie KONBET POZNAŃ.....	2
2	Cel badań eksperymentalnych	13
3	Opis badań	15
3.1	Model przestrzenny.....	15
3.2	Model pasmowy.....	19
4	Metodologia badań	20
4.1	Model przestrzenny.....	20
4.2	Model pasmowy.....	23
5	Wyniki badań.....	24
5.1	Model przestrzenny.....	24
5.1.1	Przemieszczenia od obciążeń doraźnych.....	24
5.1.2	Zarysowania.....	38
5.2	Model pasmowy.....	39
5.2.1	Przemieszczenia od obciążeń doraźnych.....	39
5.2.2	Zarysowania.....	49
6	Analiza wyników	54
6.1	Klawiszowanie stropów – model przestrzenny	54
6.2	Obliczenia numeryczne – model przestrzenny	61
6.3	Wnioski z badań.....	66
7	Podsumowanie.....	68
8	Bibliografia.....	69

1.1 Informacja o firmie KONBET POZNAŃ

Firma KONBET POZNAŃ istnieje na rynku od roku 1989. W trakcie swej 30-letniej historii firma wyspecjalizowała się w szeroko rozumianym budownictwie prefabrykowanym. Głównym elementem jej działalności jest projektowanie i produkcja innowacyjnych systemów stropowych. W roku 2016 firma stworzyła portal oraz ogólnopolską sieć kooperacyjną producentów oraz dystrybutorów systemów stropowych **STROPY.PL**.

KONBET POZNAŃ jest laureatem wielu nagród i wyróżnień branżowych w tym m.in. Lider Rynku, Euro Leader, TOP BUILDER, Budowlana Firma Roku, Kreator Budownictwa oraz trzech Złotych Medalii MTP zdobytych na targach BUDMA 2013, 2016, 2020 za systemy stropowe.

Wśród flagowych produktów KONBET POZNAŃ wymienić należy nową na europejskim rynku kategorię produktową **stropy panelowe**. Stropy te różnią się od tradycyjnych rozwiązań przede wszystkim technologią, innowacyjnym kształtem, unikalnym zbrojeniem oraz modułową budową, dzięki czemu są zdecydowanie mniejsze i lżejsze od innych systemów, a ich montaż nie jest tak wymagający. Szerokość paneli wynosi 60 cm. Każdy typ stropu jest rozwiązaniem, które posiada szereg właściwości usprawniających pracę i optymalizujących koszty.

- **Rodzina stropów panelowych**

Do stropów panelowych należą następujące rozwiązania: **Teriva Panel, Smart, Vector**. Strop Vector (rys. 1) łączy w sobie zalety innych dostępnych na rynku systemów stropowych (typu Teriva i Filigran), eliminując ich wady. Jego podstawą jest cienka prefabrykowana płyta żelbetowa o szerokości 60 cm i grubości 40 mm, w której znajdują się częściowo zabetonowane w niej kratownice przestrzenne i zbrojenie główne, równoległe do kierunku kratownic.

Strop Smart (rys. 2) to płyta strunobetonowa o szerokości 60 cm – o połowę mniejszej niż w przypadku standardowej płyty. Jest on jednym z najlżejszych stropów tego typu, jest lżejszy od stropów ceramicznych, w tym również od standardowego stropu typu Teriva. Łączy w sobie wszystkie zalety płyt strunobetonowych oraz posiada kilka nowych. Dzięki nim stał się on najczęściej wybieranym stropem zarówno wśród klientów indywidualnych, jak i przez firmy deweloperskie.

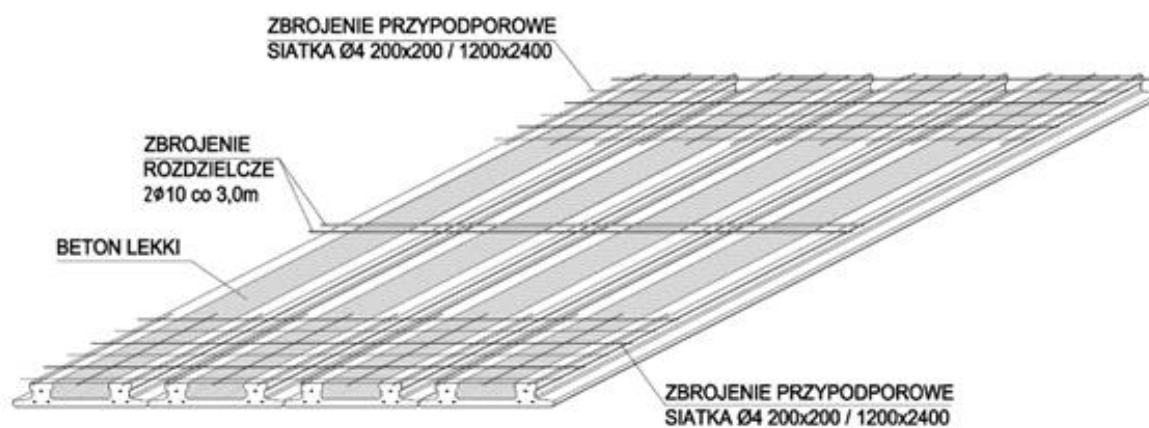


Rys. 1. Strop panelowy Vector [Źródło: 7, s. 40]



Rys. 2. Strop panelowy Smart [Źródło: 7, s. 50]

Zarówno strop Vector, jak i Smart to rozwiązania już znane, dlatego więcej miejsca zostanie poświęcone na omówienie nowości na polskim rynku jaką jest strop Teriva Panel (rys. 3, 4, 5, 6). Jest to strop zbudowany z paneli, w których żebrami są dwie strunobetonowe, sprężone belki połączone betonową stopką. Przestrzeń pomiędzy belkami wypełniona jest pianobetonem (Teriva Panel Thermo) na wzór pustaków w klasycznych stropach Teriva, poprawiającym jednocześnie parametry termiczne. Stropy te dostępne są również w wersji bez pianobetonu Teriva Panel Acoustic ze względu na dodatkowe własności akustyczne. Całość zalewa się nadbetonem o grubości od 4 do 8 cm.



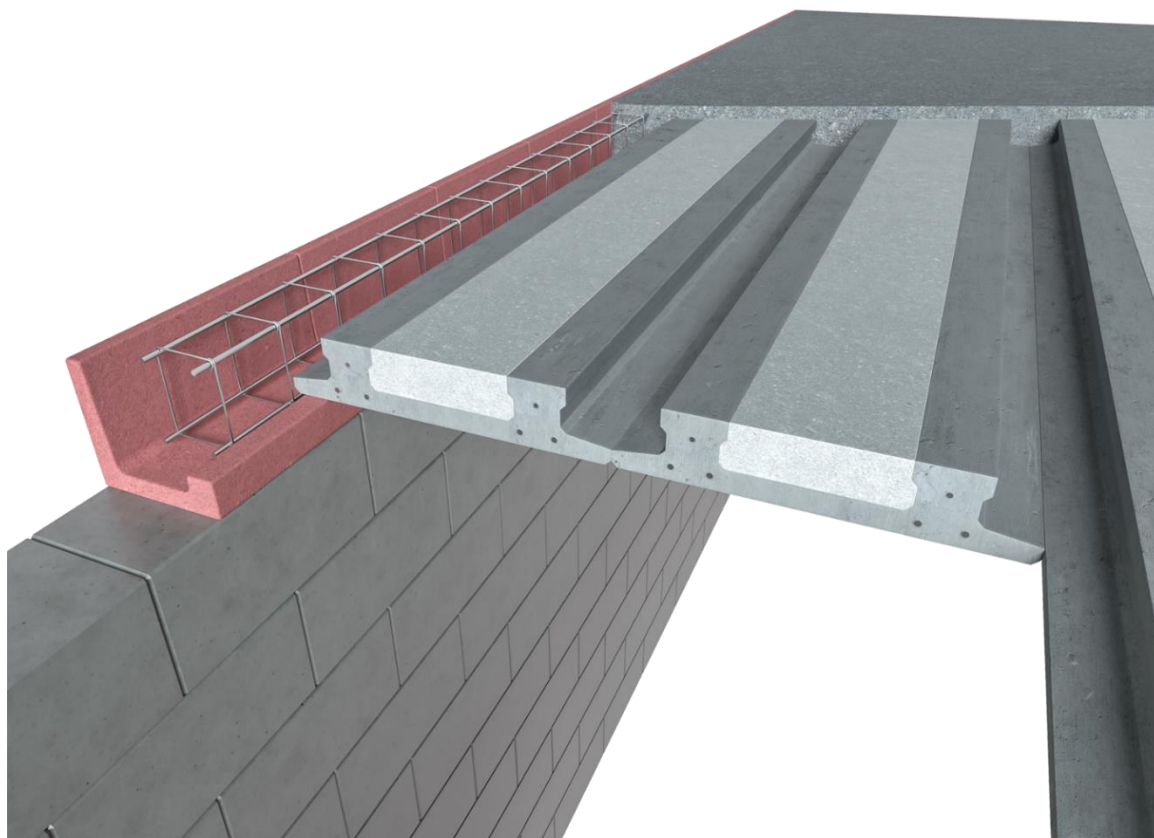
Rys. 3. Widok stropu Teriva Panel w aksonometrii. Źródło: KONBET POZNAŃ

Szerokość prefabrykatu wynosi jak w innych stropach panelowych 60 cm, jego wysokość natomiast 12 cm. Grubość konstrukcyjna stropu po wykonaniu warstwy nadbetonu wynosi odpowiednio 16 cm, przy nadbetonie gr. 4 cm oraz 20 cm, przy nadbetonie gr. 8 cm. Produkowane są również płyty o szerokości 30 cm, poprzez cięcie wzdłużne paneli. Panele produkowane są w standardowych długościach od 2,4 m do 7,4 m w module co 10 cm.

Teriva Panel polecany jest tam, gdzie dotychczas były stosowane stropy poprzedniej generacji typu Teriva, w projekcie występuje strop monolityczny lub inne rozwiązania stropowe, których rozpiętość nie przekracza 8 metrów. Wykorzystuje się go zarówno w budownictwie jednorodzinny, jak i dużych inwestycjach deweloperskich.

Właściwości stropów panelowych zdecydowanie przewyższają te, którymi charakteryzują się stropy tradycyjne. Nowoczesne rozwiązania przede wszystkim

odznaczają się szybkim i łatwym montażem – panele układa się dźwigiem typu HDS, szybko i sprawnie. Dzięki systemowemu podejściu zastosowanie prefabrykatów niweluje powstawanie błędów wykonawczych, spełniając przy tym wszystkie normy i standardy budowlane, które potwierdzają ich właściwe parametry użytkowe i wytrzymałościowe.



Rys. 4. Wizualizacja stropu Teriva Panel. Źródło: KONBET POZNAŃ

Do zalet tego typu stropów należą również większe możliwości konstrukcyjne. Stropy panelowe są też zdecydowanie tańsze, a to ze względu na sposób ich montażu, który pozwala uniknąć układania pustaków i belek, jak w tradycyjnych stropach gęstożebrowych. Jednocześnie umożliwiają kontynuowanie prac w zdecydowanie krótszym czasie niż większość dostępnych na rynku rozwiązań. Powyższe cechy są wspólne dla całej rodziny stropów panelowych. Poniżej przedstawiono najważniejsze, charakterystyczne dla danego systemu zalety.

Zalety stropu panelowego Vector (rys. 1):

- wysoka dźwiękoizolacyjność,

- szybki montaż za pomocą lekkiego dźwigu HDS,
- niewielka liczba elementów do ułożenia,
- możliwość podwieszenia ciężkich elementów w dowolnym punkcie sufitu oraz dowolność w rozmieszczaniu ścianek działowych,
- możliwość ukrycia instalacji w stropie (np. rekuperacji),
- uzyskanie jednolitej, równej i gładkiej powierzchni dolnej, która nie wymaga tynkowania, a tym samym zmniejsza koszty i czas pracy,
- brak efektu klawiszowania,
- monolityczność, co oznacza, że wszystkie elementy są ze sobą ściśle dopasowane i podlegają pełnemu zespoleniu w strefach przypodporowych oraz na powierzchni nałożonego stropu,
- brak słuczek i zwrotu palet, co za tym idzie porządek na budowie,
- możliwość stropowania powierzchni o dowolnych kształtach.

Zalety stropu panelowego Smart (rys. 2):

- bardzo krótki czas montażu, który w przypadku 100 m² stropu wynosi ok. 2 godz.,
- niska masa własna stropu, przy dużej nośności,
- duża rozpiętość – do 10,5 m przy wysokości 20 cm, co sprawia dowolność w aranżacji przestronnych wnętrz, bez konieczności stosowania ścian działowych czy podciągów,
- brak stemplowania i zalewania nadbetonem – w pełni nośny strop uzyskujemy już następnego dnia po ułożeniu paneli i zalaniu zamków,
- redukcja kosztów prac budowlanych (deskowania, nadbetonu, wynajmu dźwigu),
- wysoka dźwiękoizolacyjność,
- niski koszt wykonania stropu,
- redukcja ewentualnych błędów wykonawczych dzięki użyciu prefabrykatów.

Zalety stropu panelowego Teriva Panel (rys. 3, 4, 5):

- oszczędność stali, nadbetonu i robocizny, co znacznie obniża całkowity koszt wykonania stropu,
- skrócony czas montażu nawet do 80%, dzięki układaniu gotowych paneli, a nie belek i pustaków bezpośrednio na budowie,

- mniejsza ilość nadbetonu, co jest możliwe dzięki zastosowaniu niższych wysokości konstrukcyjnych – 16 i 20 cm; przy wysokości 16 cm, jego ilość zredukowana zostaje prawie o 50%,
- mniejsza ilość stempli, a w przypadku stropu do rozpiętości 4 metrów – całkowity brak konieczności stemplowania,
- wysoka dźwiękoizolacyjność, aż o 24% lepsza w stosunku do popularnej Terivy 4.0,
- możliwość ukrycia instalacji w stropie poprzez łatwe usunięcie betonu lekkiego z panelu,
- równa i jednolita powierzchnia dolna oraz możliwość podwieszania ciężkich elementów w dowolnym miejscu stropu.



Rys. 5. Strop panelowy Teriva Panel [Źródło: www.strop-teriva.pl, dostęp dn. 11.06.2019]



Rys. 6. Strop panelowy Teriva Panel [Źródło: www.strop-teriva.pl, dostęp dn. 24.06.2019]

Do pozostałych systemów stropowych oferowanych przez KONBET POZNAŃ należą: sprężone płyty kanałowe SPK; stropy gęstożebrowe na belce sprężonej – Master; gęstożebrowe stropy Teriva Konbet Family w tym stropy Teriva Termo System, a także produkty uzupełniające jak nadproża strunobetonowe oraz kształtki wieńcowe (szalunkowe).

- **Płyty Stropowe Strunobetonowe SPK**

Płyty Stropowe Strunobetonowe SPK podobnie jak i Strop Panelowy SMART są odpowiedzią na coraz wyraźniejsze zapotrzebowanie rynku na produkty prefabrykowane minimalizujące czas budowy. Do produkcji kanałowych płyt strunobetonowych wykorzystuje się stal o wytrzymałości 1860 MPa lub np. 2160 MPa, wymagana jest również wysoka klasa betonu C40/50, dlatego gotowy prefabrykat zyskuje szereg unikalnych właściwości: nośność do 40 kN/m², a oferowane rozpiętości do 21 m, lepsza izolacyjność akustyczna oraz odporność na warunki atmosferyczne (jaka klasa ekspozycji XD, XS). Przenoszenie znacznych obciążeń przez elementy tego typu, przy niewielkim ciężarze własnym oraz osiąganie dużej nośności sprawia, że może być montowany w każdym rodzaju budynków. Stropy z kanałowych płyt strunobetonowych nie zajmują wiele przestrzeni,

dzięki mniejszej wysokości konstrukcyjnej zyskuje się na kubaturze pomieszczenia. Bez problemu pozwalają też na łączenie z elementami, które wykonano w innej technologii. Widok typowych elementów przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. System stropowy z kanałowych płyt strunobetonowych Źródło: KONBET POZNAŃ

- **System stropowy MASTER oparty na belce strunobetonowej**

System Stropowy MASTER (rys. 8) jest odmianą stropu gęstożebrowego, którego głównym atutem jest swoboda doboru obciążeń oraz możliwość stropowania większych powierzchni przy niższej niż np. w stropach Teriva, grubości stropu. Podstawą systemu jest belka strunobetonowa odpowiadająca za nośność stropu oraz dedykowane pustaki stropowe, na podstawie których można zbudować układy o zróżnicowanych wysokościach (od 14 cm do 30 cm) i rozpiętościach (do 9,3 m).



Rys. 8. System stropowy na belce sprężonej Master. Źródło: KONBET POZNAŃ

- **Nadproża strunbetonowe SBN**

Nadproża strunobetonowe SBN cechują się łatwością montażu oraz wysoką funkcjonalnością. Można je stosować nie tylko, jako elementy zamykające otwory okienne i drzwiowe w konstrukcji ścian, ale także w przesklepieniach otworów drzwiowych ścian działowych. Nadproża SBN eliminują konieczność wykonywania monolitycznych belek co znacznie przyspiesza proces budowy. Jest to idealne rozwiązanie dla klientów, którym zależy nie tylko na czasie, ale także na minimalizowaniu kosztów budowy związanych z dozbrajaniem czy wykonywaniem robót monolitycznych (całościowy koszt nadproża z montażem może być nawet o 30% mniejszy w przypadku użycia nadproży SBN). Nadproża strunobetonowe produkowane są z wysokiej klasy betonu C40/50 i zbrojone strunami ze stali sprężającej o wytrzymałości na rozciąganie równej 2060 MPa, dzięki czemu mogą przejmować większe obciążenia od klasycznych nadproży żelbetowych (np. typu L-19). Nadproże SBN jak każdy element strunobetonowy charakteryzuje się odwrotną strzałką ugięcia. Górna powierzchnia nadproży jest chropowata, przez co uzyskuje się odpowiednią przyczepność z betonem wieńca. Każda deklarowana rozpiętość oferowana przez producenta posiada wszystkie certyfikaty dopuszczające produkt do sprzedaży

i stosowania w budownictwie. Przykłady zastosowania nadproży strunobetonowych zamieszczona na Rys. 9.



Rys. 9. Nadproża strunobetonowe. Źródło: KONBET POZNAŃ

- **Kształtki wieńcowe**

Oferowane przez KONBET POZNAŃ kształtki wieńcowe (pustaki szalunkowe) są pierwszym w Polsce kompletnym system elementów szalunkowych (kształtek) wieńca opuszczonego. W jego skład wchodzi elementy umożliwiające jednostronne i dwustronne opieranie stropów zarówno na ścianach wewnętrznych i zewnętrznych (typ L, C lub U). Zostały one stworzone, aby wyeliminować dodatkowe prace budowlane związane z deskowaniem ułatwiając i przyspieszając tym samym pracę. Dzięki równej powierzchni zapewniają równomierny rozkład obciążeń, a także poprawiają estetykę wykonania wieńca. Uzupełnieniem systemu są pustaki szalunkowe, do formowania narożników zewnętrznych i wewnętrznych. Przykłady zastosowania kształtek wieńcowych zamieszczono na 10.



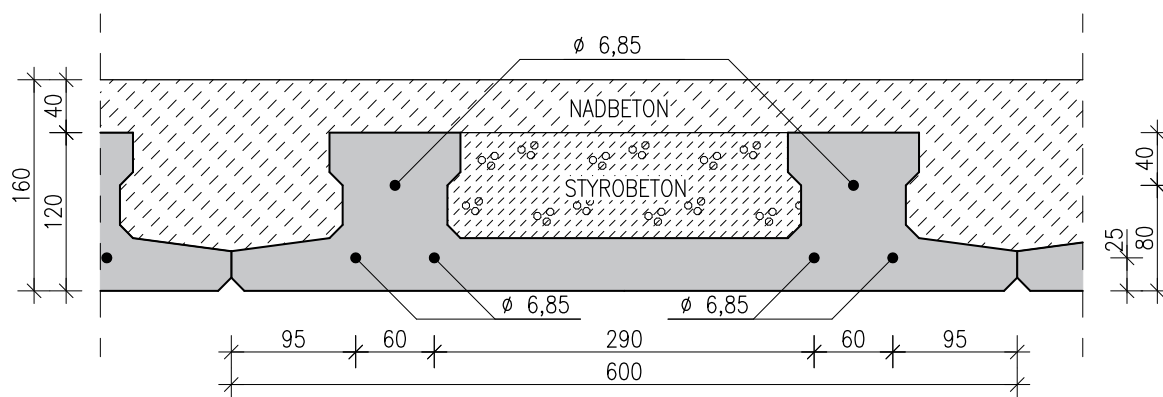
Rys. 10. Kształtki wieńcowe (szalunkowe). Źródło: KONBET POZNAŃ

2 Cel badań eksperymentalnych

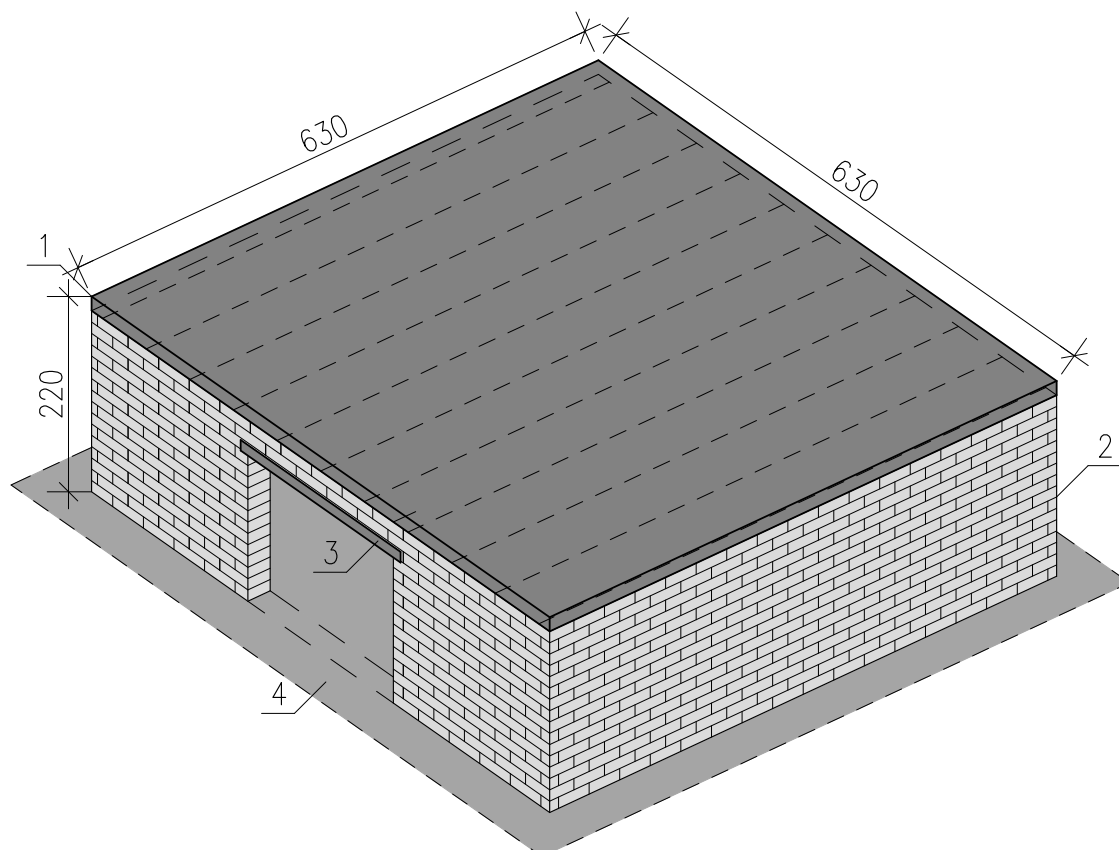
Celem prowadzonych badań było doświadczalne określenie zachowania się stropu TerivaPanel podczas próby doraźnego obciążania ze szczególnym uwzględnieniem:

- pionowych przemieszczeń dolnej powierzchni badanego stropu,
- morfologii powstających na dolnej powierzchni strop zarysowań,
- wzajemnych przemieszczeń płyt stropowych – klawiszowania.

Badania przeprowadzono na pełnowymiarowym stropie typu TerivaPanel oraz wydzielonym pasie stropowym. Wykorzystano betonowe (C40/50) prefabrykowane panele TerivaPanel składające się z betonowej dolnej płytki grubości 4 cm i szerokości 60 cm z wykształtowanymi ku górze dwoma podłużnymi żebrami o wysokości 12 cm w rozstawie osiowym 35,5 cm. Zbrojenie sprężające żeber składało się ze splotów 7-drutowych $\phi 6,85$ mm ($1 \times \phi 3,17$ mm + $6 \times \phi 3,08$ mm) ze stali Y2060S7 umieszczonych zgodnie z rys. 11. W każdym stropowym prefabrykacie, przestrzeń między żebrami wypełniano styrobetonem o grubości 8,0 cm, a po montażu elementów wykonywano warstwę nadbetonu grubości 4 cm. Model badawczy wykonano na terenie Fabryki Stropów KONBET w postaci przestrzennej konstrukcji stropu o wymiarach $\sim 6,30 \times 6,30$ m opartego na ścianach z bloczków betonowych o grubości 24,0 cm i wysokości 2,20 m (Rys. 12), a model pasmowy na pojedynczej warstwie bloczków z betonu komórkowego.



Rys. 11. Przekrój zastosowanego panelu wraz z ciągniami i nadbetonem



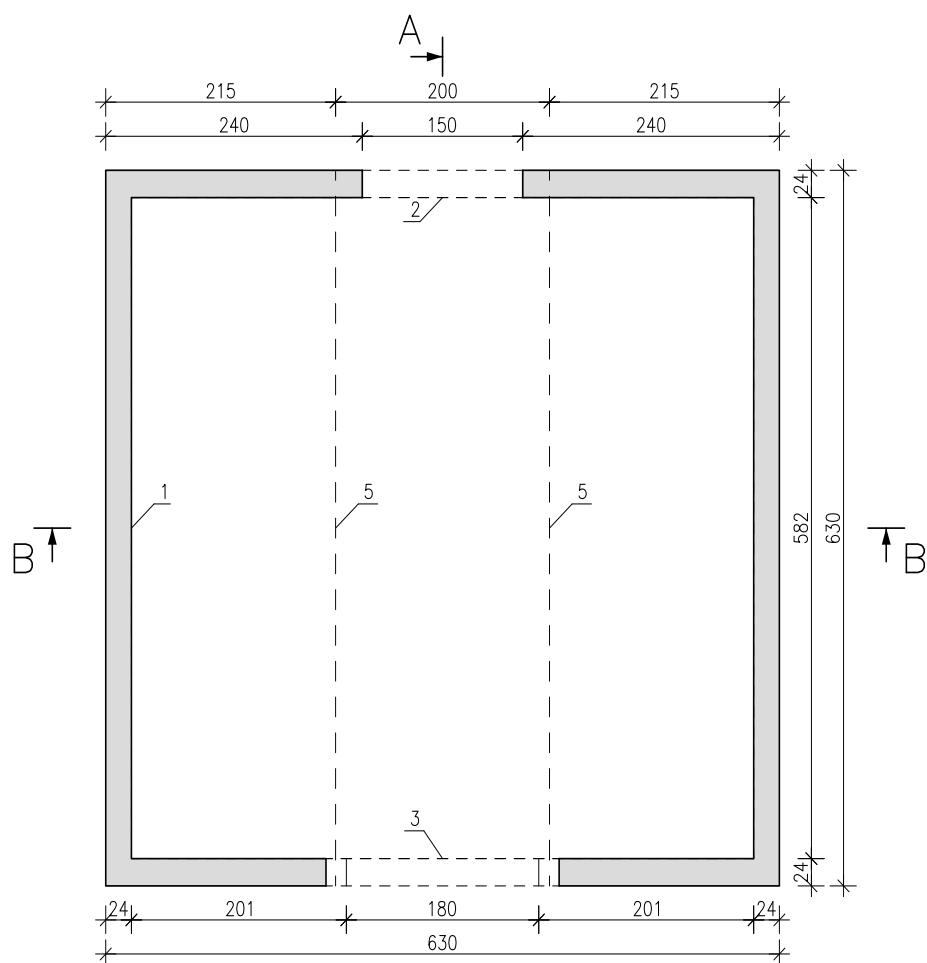
Rys. 12. Widok modelu (1- strop TerivaPanel, 2- ściana z bloczków betonowych, 3- sprężone nadproże betonowe 2 x SBN 7,2/12/180, 4- prefabrykowana podbudowa betonowa)

3 Opis badań

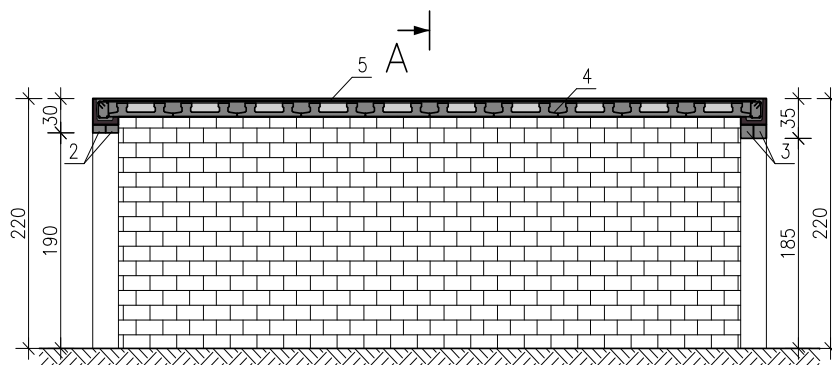
3.1 Model przestrzenny

Model wykonany został w dniach 8.05÷11.05.2019 r. jako pełnowymiarowy jednokondygnacyjny obiekt o kwadratowym rzucie ze ścianami murowanymi wysokości 2,20 m i długości boku wynoszącej 6,30 m. Do wykonania ścian użyto z bloczków betonowych o grubości 24,0 cm na zaprawie cementowej. W dwóch przeciwległych ścianach prostopadłych do kierunku oparcia prefabrykowanych paneli wykształtowano otwory drzwiowe o szerokości w świetle wynoszących 1,5 m. Otwory przekryto systemowymi nadprożami sprężonymi KONBET od strony hali umieszczono dwa nadproża SBN 7,2/12/180, natomiast po przeciwnej stronie zabudowano 2 nadproża SBN 12/12/210. Na ścianach ułożono prefabrykaty wieńcowe, skonstruowano wieńce a na nich zamontowano 10 prefabrykatów stropu TerivaPanel bez zastosowania podpór montażowych. W wieńców wyprowadzono górne zbrojenie nadpodporowe w postaci stalowej siatki 200x200 mm z prętów średnicy 4 mm sięgające w głąb przęsła na długość 100cm. Następnie na ułożonych prefabrykatakach zastosowano beton wypełniający nominalnej klasy wytrzymałości C25/30 uzyskując całkowitą grubość stropu wynoszącą 16 cm – rys. 13. Widok stropu przed i po zabetonowaniu zamieszczono na rys. 14. Strop zaprojektowany został według PN-EN 1992-1-1 [1] na obciążenie ponad ciężar własny wynoszące $6,5 \text{ kN/m}^2$, przy obciążeniu zmiennym stanowiącym 40% całego obciążenia (długotrwała część obciążenia zmiennego równała się 50% obciążenia całkowitego). Szczegóły opisu konstrukcji stropu TerivaPanel oraz metody projektowania zawarto w dokumentacji technicznej [3].

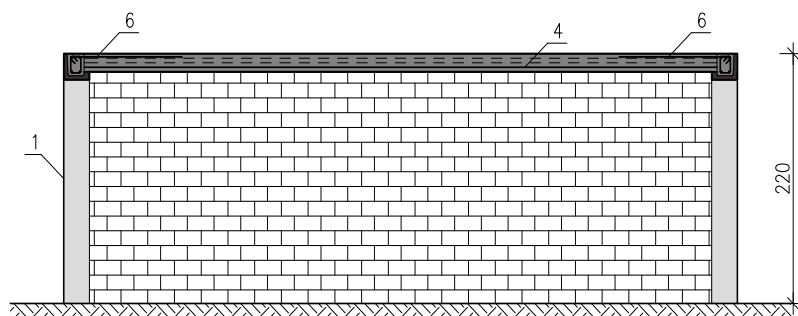
a)



b)



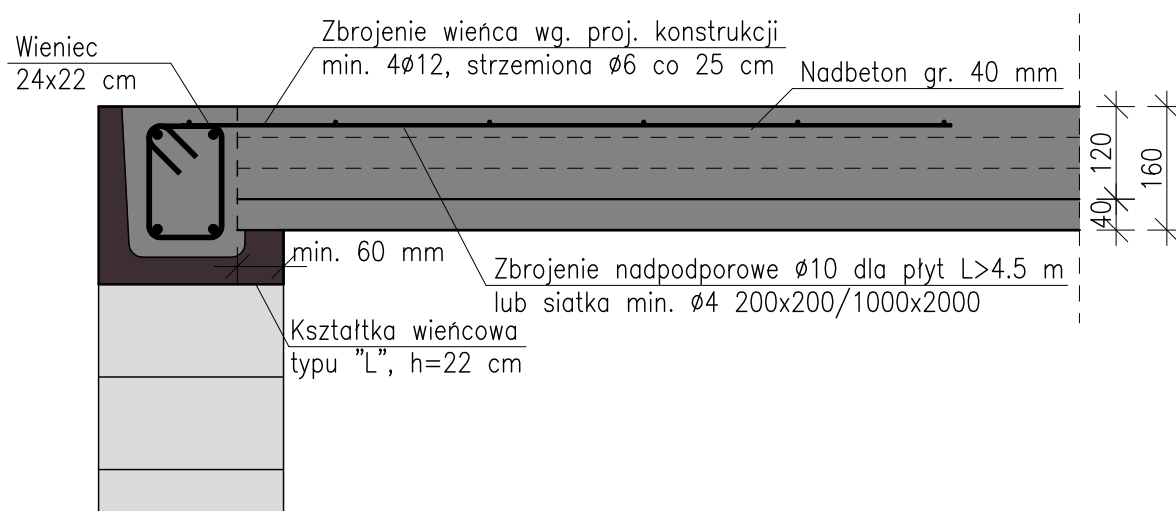
c)



Rys. 13. Wymiary geometryczne: a) przekrój A-A, c) przekrój B-B (1- ściana z bloczków betonowych, 2- nadproże 2×SBN 7,2/12/210, 3- nadproże 2×SBN 12/12/180, 4- strop TerivaPanel, 5- żebra rozdzielcze, 6- zbrojenie strefy podporowej)



Rys. 14. Widok modelu w trakcie wykonywania i po betonowaniu



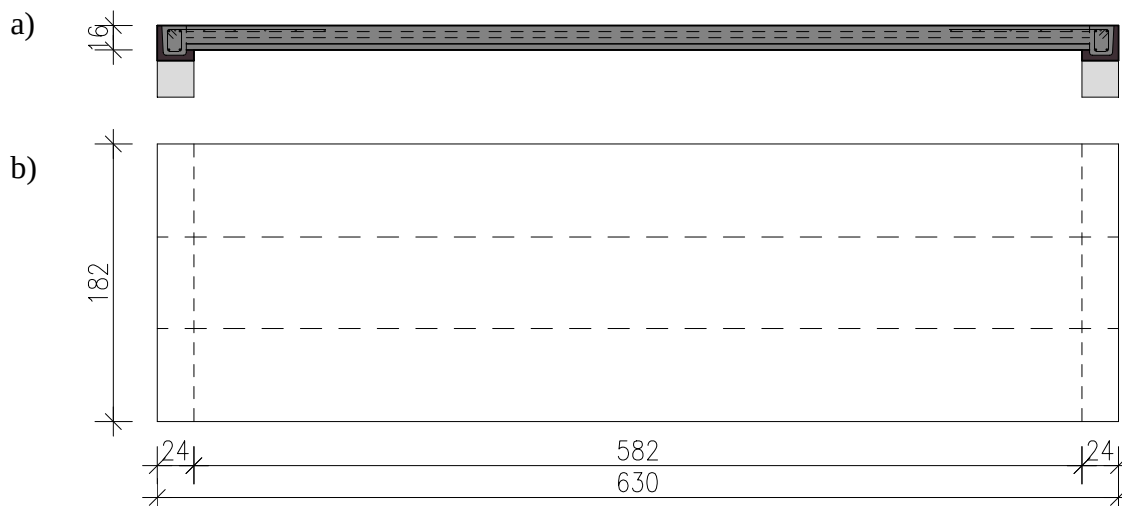
Rys. 15. Szczegół zbrojenia strefy podporowej



Rys. 16. Widoki wykonanego zbrojenia podporowego

3.2 Model pasmowy

Model pasmowy wykonany został z 3 prefabrykatów TerivaPanel, szerokość całkowita wynosiła 182 cm, a długość 630 cm (Rys. 17). Na panelach wykonano warstwę nadbetonu o nominalnej klasie wytrzymałości C25/30 i grubości 4,0 cm, całkowita grubość stropu wynosiła 16,0 cm. Panele zostały oparte na krótszej krawędzi, na prefabrykowanych kształtkach wieńcowych ułożonych na warstwie bloczków z ABK o grubości 24,0 cm.



Rys. 17. Wymiary geometryczne: a) przekrój podłużny, b) rzut z góry modelu pasmowego



Rys. 18. Widok wykonanego modelu pasmowego

4 Metodologia badań

4.1 Model przestrzenny

Model przestrzenny badano pod obciążeniem doraźnym i długotrwałym. Badania modelu pod obciążeniem doraźnym przeprowadzono w dniu 11.06.2019 r. Kolejność prowadzonych prac była następująca:

- Inwentaryzacja modelu badawczego. W czasie tej czynności dokonano pomiaru głównych wymiarów geometrycznych i porównywano z przekazaną dokumentacją. Zarejestrowano występujące uszkodzenia ścian i stopów.
- Rozłożenie aparatury pomiarowej, która polegała na podwieszeniu do dolnych powierzchni stropów reperów pomiarowych, służących do pomiaru geodezyjnego oraz ustawienia ramek, na których umieszczono indukcyjne przetworniki przemieszczeń LVDT typu PJX-10 i PJX-20 (do pomiaru automatycznego). Dokładne rozmieszczenie czujników podano w dalszej części sprawozdania.
- Stopniowe przyłożenie obciążenia według ustalonego harmonogramu. Obciążenie było przykładane do modelu w postaci obciążenia grawitacyjnego. Całkowite obciążenie ponad ciężar własny stropu o wartości $4,7 \text{ kN/m}^2$ zostało podzielone na dwie części $1,7 \text{ kN/m}^2$ (założona wartość obciążenia stałego) oraz $3,0 \text{ kN/m}^2$ (założona wartość obciążenia zmiennego). Obciążenie było przykładane do każdego z modeli w następujący sposób (rys. 19):
 - usunięcie z górnej powierzchni badanych modeli wszystkich elementów niekonstrukcyjnych – Schemat A (rys. 19);
 - ułożenie warstwy bloczków betonowych (zastępcze obciążenie stałe) na $\frac{1}{4}$ modelu – Schemat B (rys. 19);
 - ułożenie warstwy bloczków betonowych (zastępcze obciążenie stałe) na $\frac{1}{2}$ modelu – Schemat C (rys. 19);
 - ułożenie warstwy bloczków betonowych (zastępcze obciążenie stałe) na $\frac{3}{4}$ modelu – Schemat D (rys. 19);
 - ułożenie warstwy bloczków betonowych (zastępcze obciążenie stałe) na całości modelu – Schemat E (rys. 19);

- utrzymanie obciążenia według Schematu E przez jedną godzinę (zastępcze obciążenie stałe) na całości modelu – Schemat F (rys. 19);
 - ułożenie warstwy palet z bloczkami betonowymi (zastępcze obciążenie zmienne) na $\frac{1}{4}$ modelu – Schemat G (rys. 19);
 - ułożenie warstwy palet z bloczkami betonowymi (zastępcze obciążenie zmienne) na $\frac{1}{2}$ modelu – Schemat H (rys. 19);
 - ułożenie warstwy palet z bloczkami betonowymi (zastępcze obciążenie zmienne) na $\frac{3}{4}$ modelu – Schemat I (rys. 19);
 - ułożenie warstwy palet z bloczkami betonowymi (zastępcze obciążenie zmienne) na całości modelu – Schemat J (rys. 19);
 - zwiększenie wartości obciążenia na połowie modelu z równoczesnym odciążeniem drugiej połowy – Schemat K (rys. 19);
 - utrzymanie obciążenia według Schematu K przez jedną godzinę (zastępcze obciążenie stałe) na całości modelu – Schemat L (rys. 19).
- Odczyt mierzonych wielkości. W zakresie mierzonych wielkości przeprowadzano odczyt geodezyjny oraz automatyczny pionowych przemieszczeń dolnej powierzchni badanych stropów. Pomiary prowadzone były po przyłożeniu każdego z wymienionych powyżej schematów obciążenia. Wyniki pomierzonych przemieszczeń zamieszczono w dalszej części opracowania.
 - Inwentaryzacja powstałych uszkodzeń. W czasie tej czynności dokonywano oględzin elementów konstrukcyjnych (ścian oraz stropu od dołu) i pomiar rozwarcia rys przy pomocy wskaźników szerokości rys. Zaobserwowane uszkodzenia opisano w dalszej części opracowania.

Po osiągnięciu ostatniego schematu obciążenia (schemat L na rys. 19) model pozostawiono na okres 1 roku i dalej prowadzono pomiary przemieszczeń metoda geodezyjną.

Schemat A

0,0 kN/m ²	0,0 kN/m ²
0,0 kN/m ²	0,0 kN/m ²

Schemat B

1,7 kN/m ²	0,0 kN/m ²
0,0 kN/m ²	0,0 kN/m ²

Schemat C

1,7 kN/m ²	1,7 kN/m ²
0,0 kN/m ²	0,0 kN/m ²

Schemat D

1,7 kN/m ²	1,7 kN/m ²
1,7 kN/m ²	0,0 kN/m ²

Schemat E

1,7 kN/m ²	1,7 kN/m ²
1,7 kN/m ²	1,7 kN/m ²

Schemat F

1,7 kN/m ²	1,7 kN/m ²
1,7 kN/m ²	1,7 kN/m ²

Schemat G

4,7 kN/m ²	1,7 kN/m ²
1,7 kN/m ²	1,7 kN/m ²

Schemat H

4,7 kN/m ²	4,7 kN/m ²
1,7 kN/m ²	1,7 kN/m ²

Schemat I

4,7 kN/m ²	4,7 kN/m ²
4,7 kN/m ²	1,7 kN/m ²

Schemat J

4,7 kN/m ²	4,7 kN/m ²
4,7 kN/m ²	4,7 kN/m ²

Schemat K

7,7 kN/m ²	7,7 kN/m ²
1,7 kN/m ²	1,7 kN/m ²

Schemat L

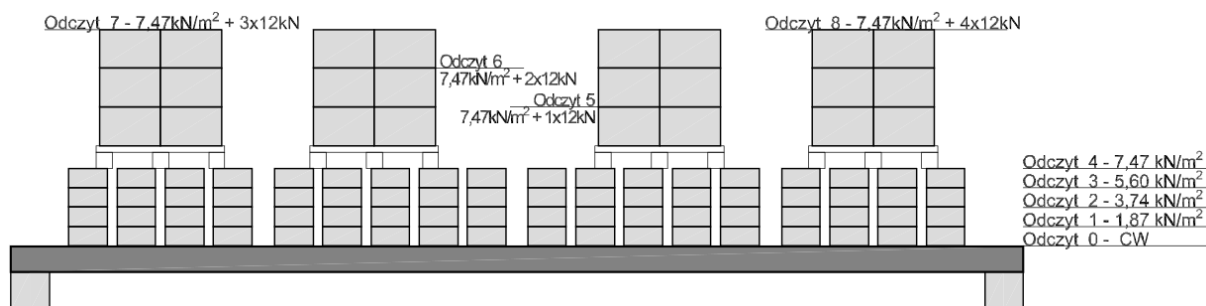
7,7 kN/m ²	7,7 kN/m ²
1,7 kN/m ²	1,7 kN/m ²

Rys. 19. Zmiana wartości obciążenia równomiernie rozłożonego

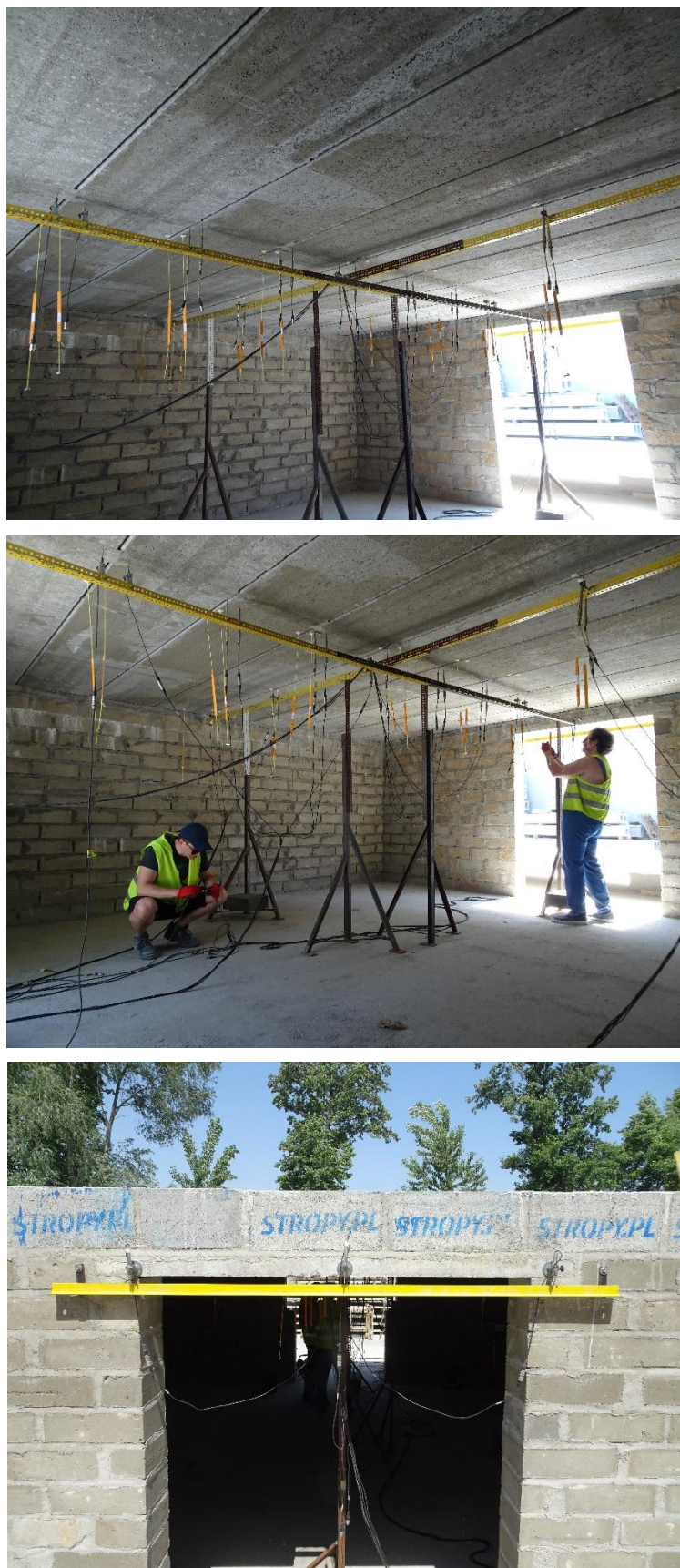
4.2 Model pasmowy

Badania modelu pod obciążeniem doraźnym aż do zniszczenia. Badania przeprowadzono w dniu 12.06.2019 r. Kolejność prowadzonych prac była następująca:

- Inwentaryzacja modelu badawczego, wyznaczenie punktów pomiarowych.
- Wykonanie pomiaru ugięcia początkowego.
- Stopniowe przyłożenie obciążenia. Obciążenie było przykładane do modelu w postaci obciążenia grawitacyjnego. Obciążenie to było przykładane do każdego z modeli w następujący sposób:
 - ułożenie pierwszej warstwy bloczków betonowych (1 z 4) – Odczyt 1 (rys. 20);
 - ułożenie drugiej warstwy bloczków betonowych (2 z 4) – Odczyt 2 (rys. 20);
 - ułożenie trzeciej warstwy bloczków betonowych (3 z 4) – Odczyt 3 (rys. 20);
 - ułożenie czwartej warstwy bloczków betonowych (4 z 4) – Odczyt 4 (rys. 20);
 - ułożenie pierwszej palety z bloczkami betonowymi – Odczyt 5 (rys. 20);
 - ułożenie drugiej palety z bloczkami betonowymi – Odczyt 6 (rys. 20);
 - ułożenie trzeciej palety z bloczkami betonowymi – Odczyt 7 (rys. 20);
 - ułożenie czwartej palety z bloczkami betonowymi – Odczyt 8 (rys. 20);
- W zakresie mierzonych wielkości przeprowadzano odczyt geodezyjny przemieszczeń górnej powierzchni badanych stropów. Wyniki pomierzonych przemieszczeń zamieszczono w dalszej części opracowania.
- Inwentaryzacja powstałych uszkodzeń. W czasie tej czynności dokonywano oględzin elementów konstrukcyjnych i pomiar rozwarcia rys przy pomocy wskaźników szerokości rys.



Rys. 20. Kolejne kroki obciążenia

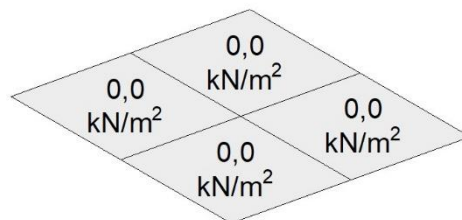


Rys. 22. Montaż czujników indukcyjnych do pomiarów przemieszczeń pionowych

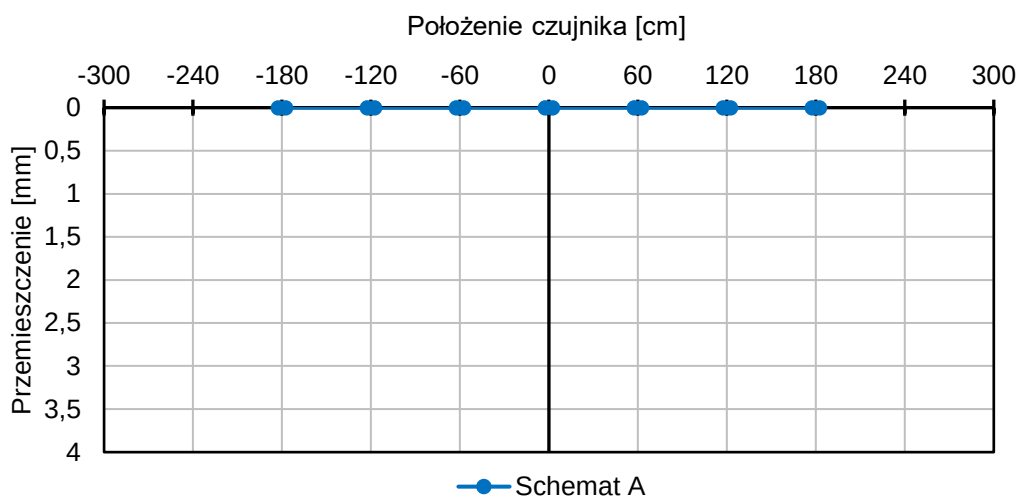
a)



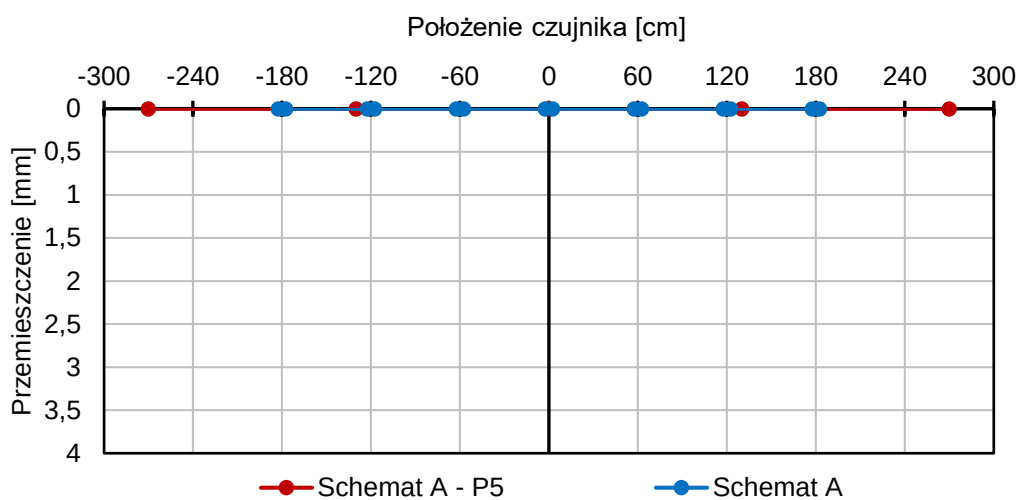
b)



c)



d)

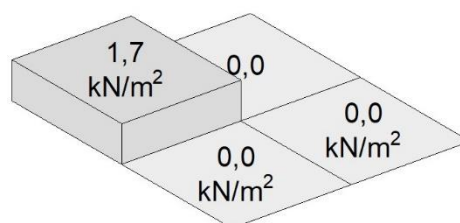


Rys. 23. Schemat obciążenia A: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów, d) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów i prostopadłej do osi otworów

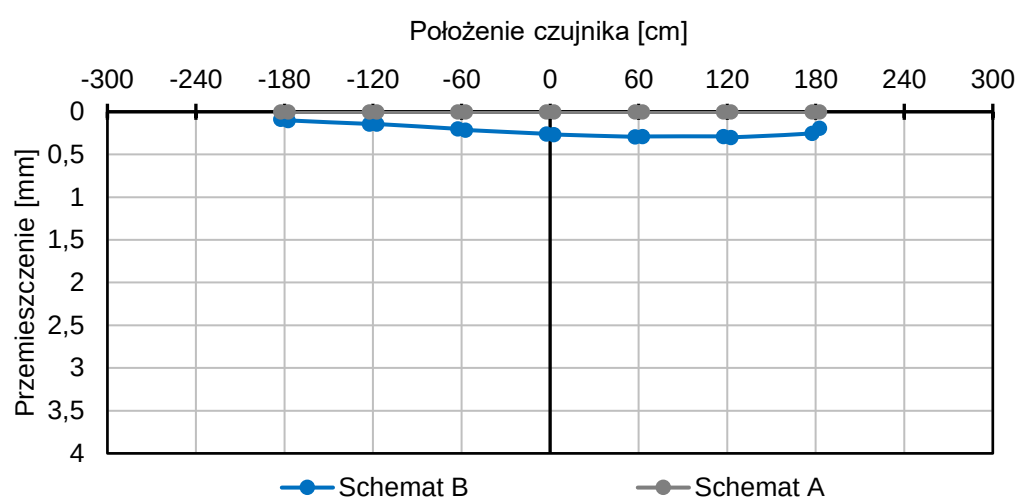
a)



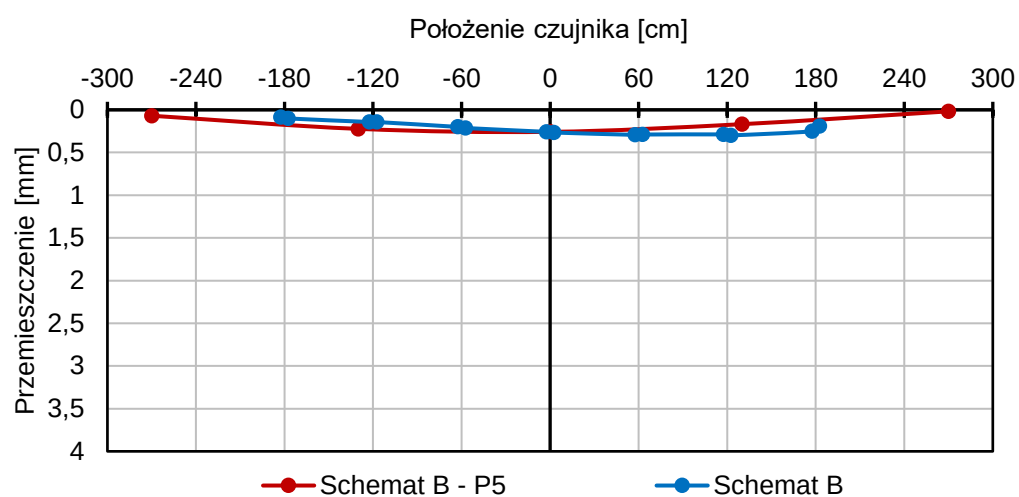
b)



c)

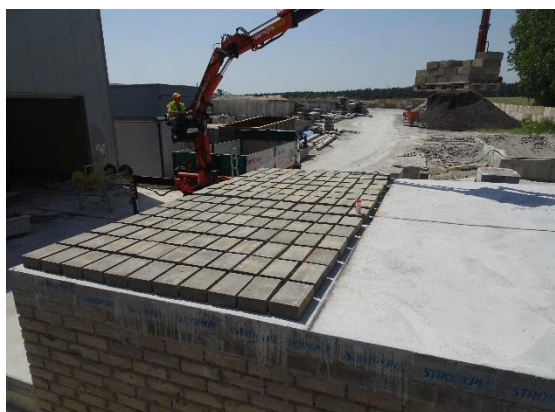


d)

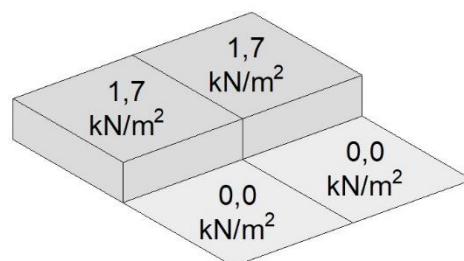


Rys. 24. Schemat obciążenia B: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów z porównaniem do poprzedniego schematu, d) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów i osi prostopadłej do osi otworów

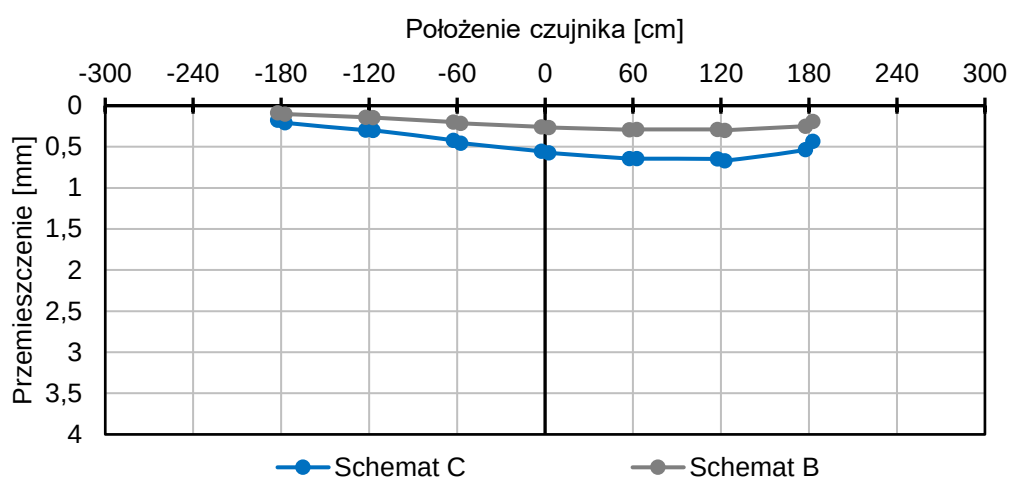
a)



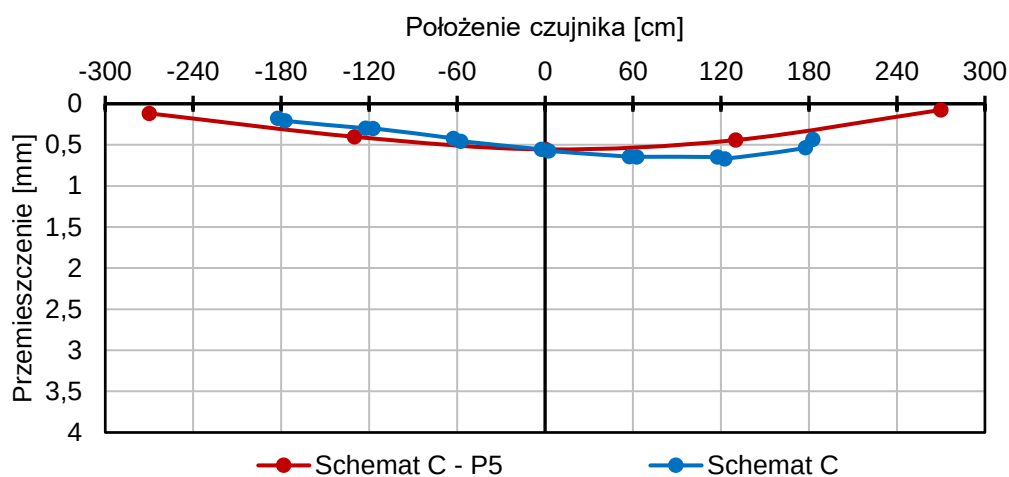
b)



c)



d)

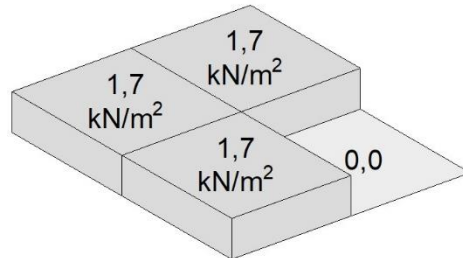


Rys. 25. Schemat obciążenia C: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów z porównaniem do poprzedniego schematu, d) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów i osi prostopadłej do osi otworów

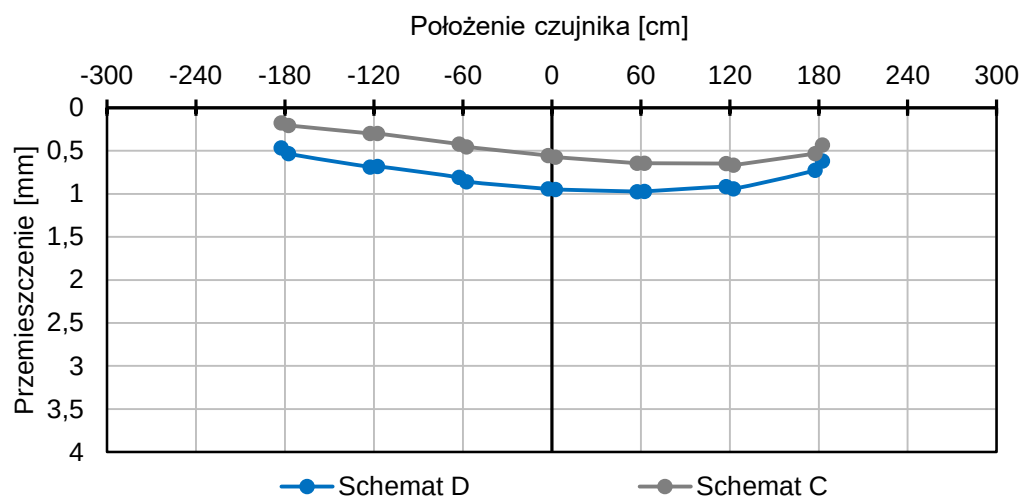
a)



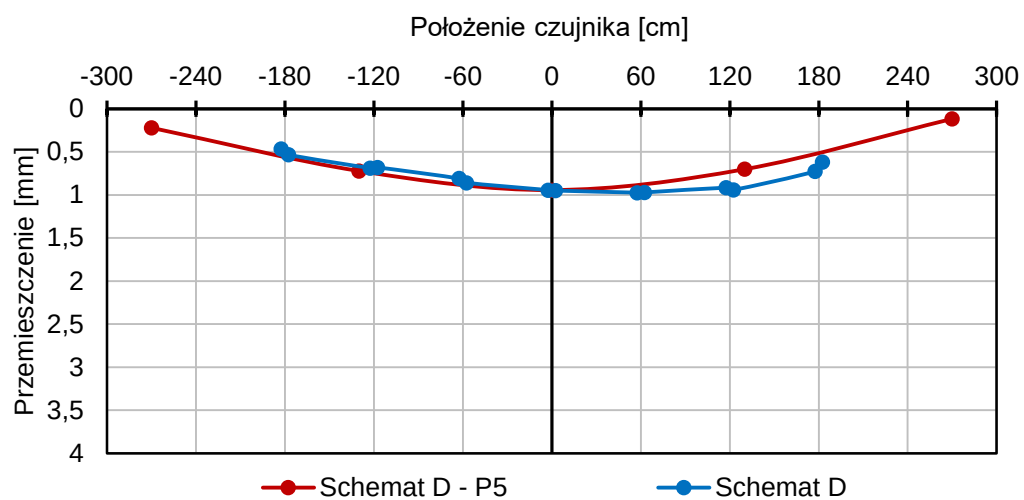
b)



c)



d)

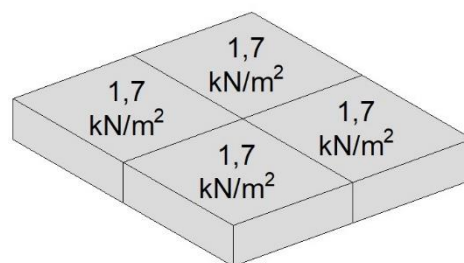


Rys. 26. Poziom D: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów z porównaniem do poprzedniego schematu, d) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów i osi prostopadłej do osi otworów

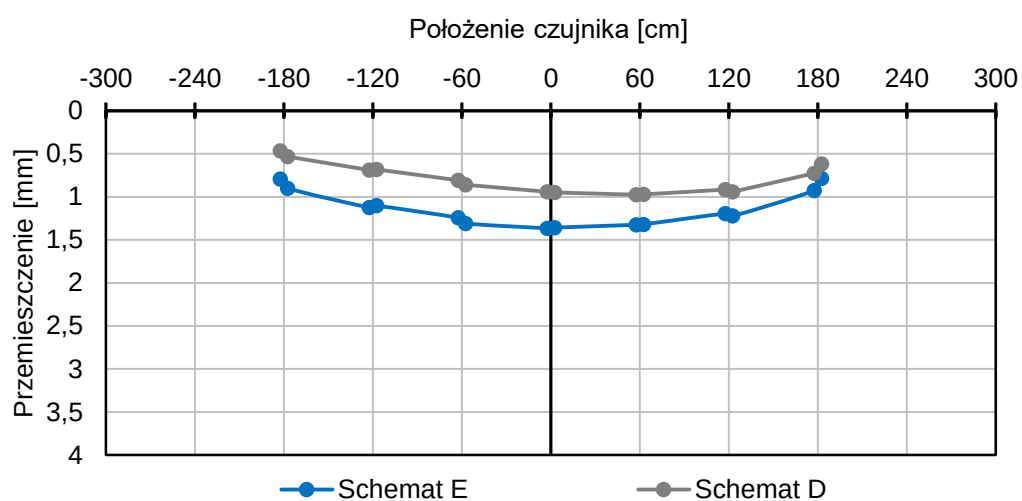
a)



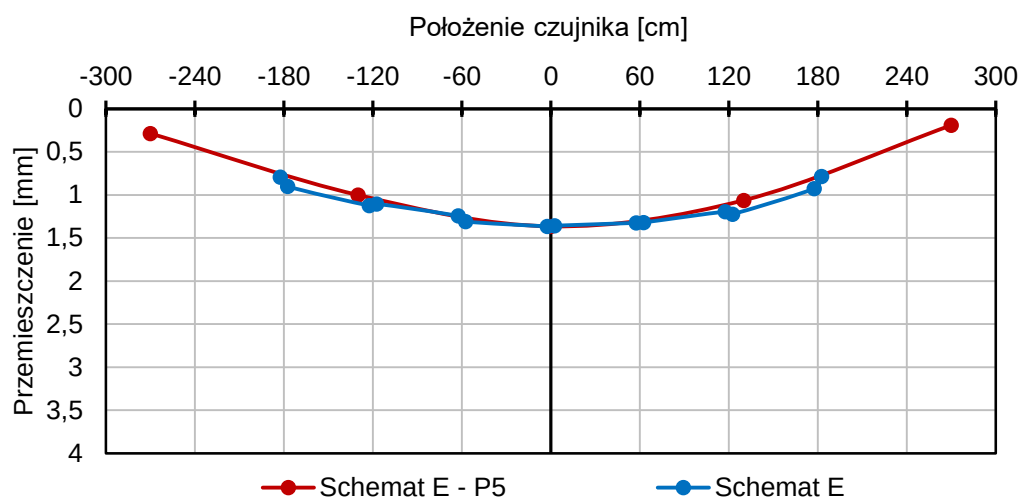
b)



c)



d)

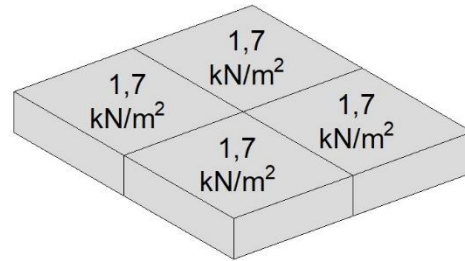


Rys. 27. Poziom E: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów z porównaniem do poprzedniego schematu, d) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów i osi prostopadłej do osi otworów

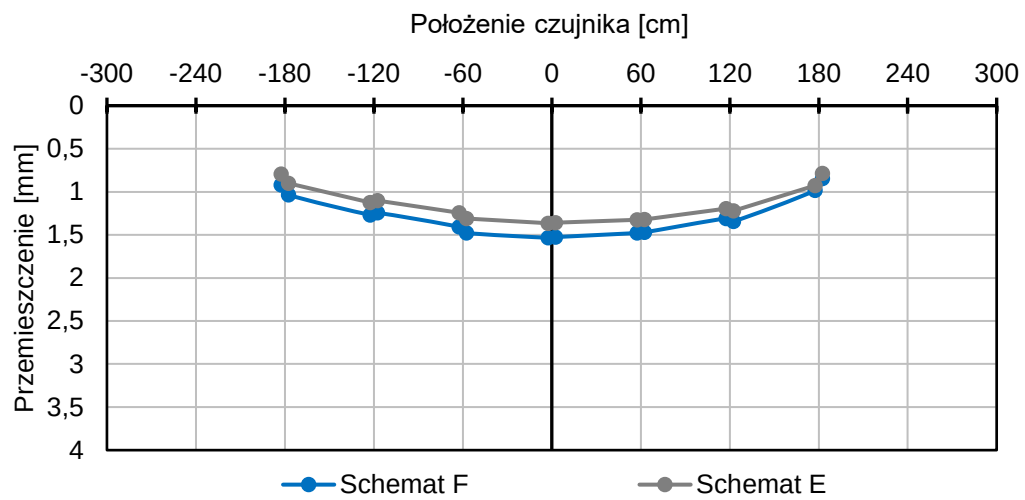
a)



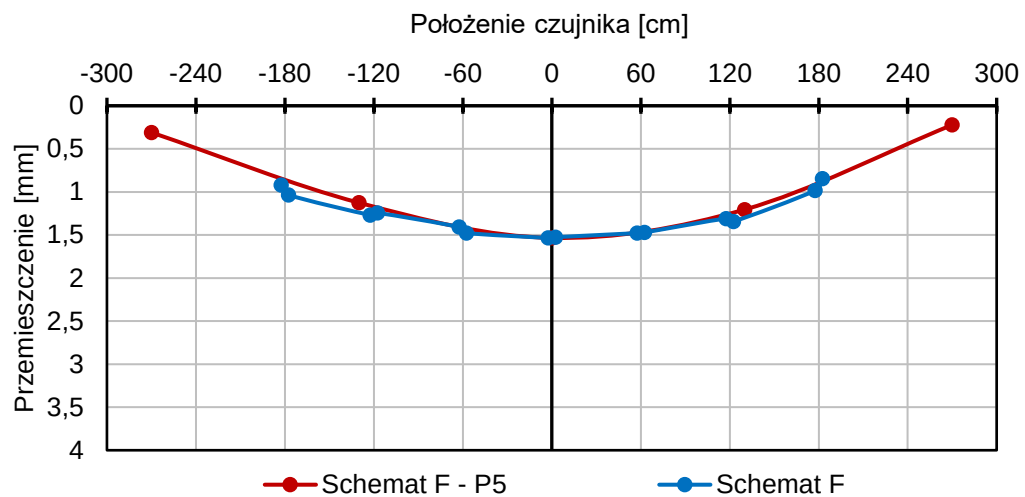
b)



c)



d)

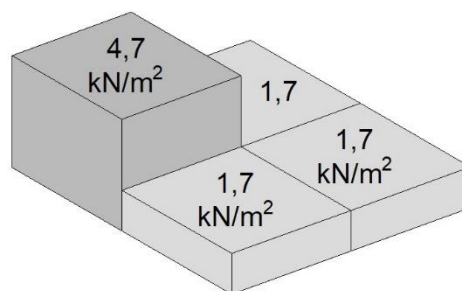


Rys. 28. Poziom F: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów z porównaniem do poprzedniego schematu, d) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów i osi prostopadłej do osi otworów

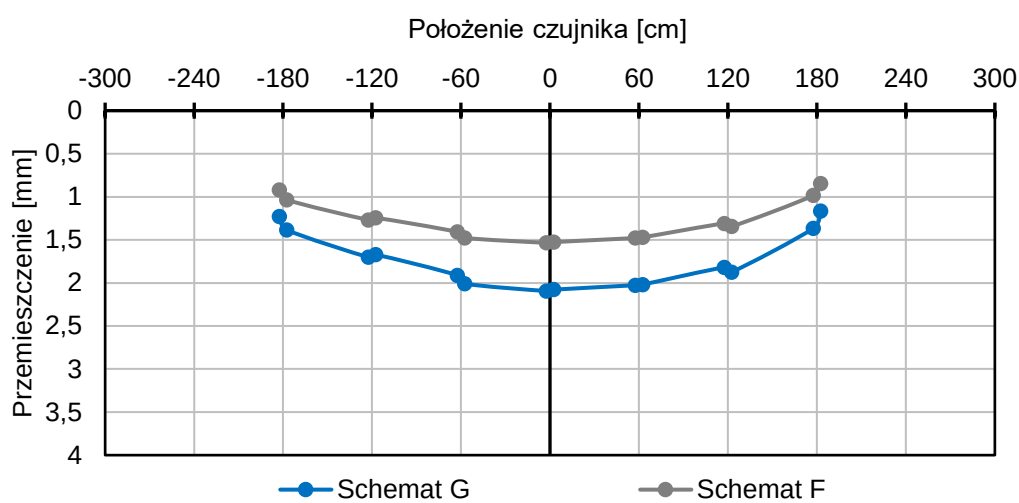
a)



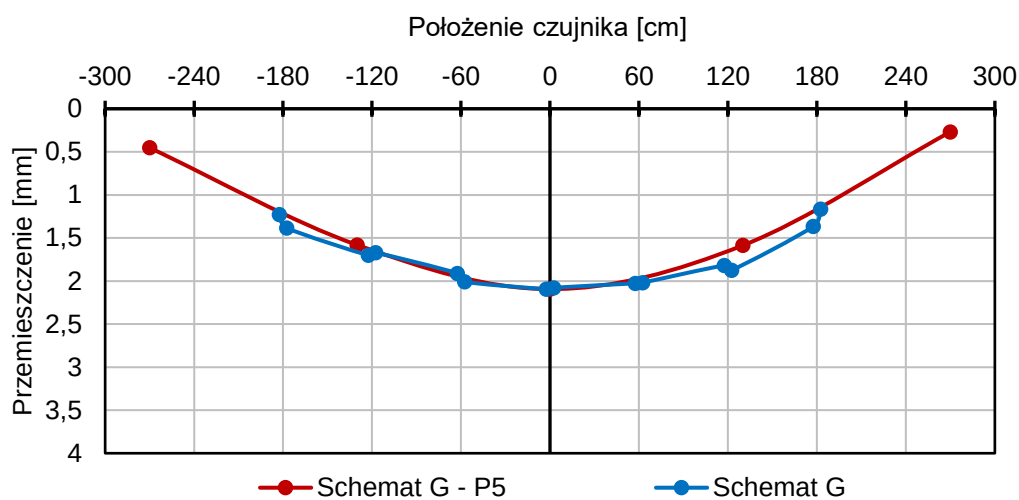
b)



c)



d)

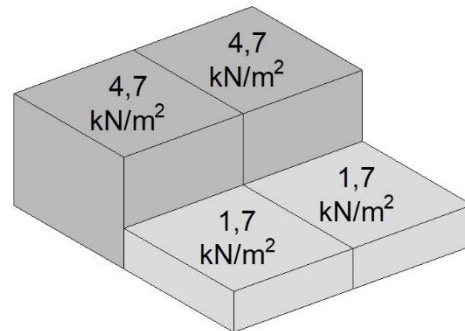


Rys. 29. Poziom G: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów z porównaniem do poprzedniego schematu, d) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów i osi prostopadłej do osi otworów

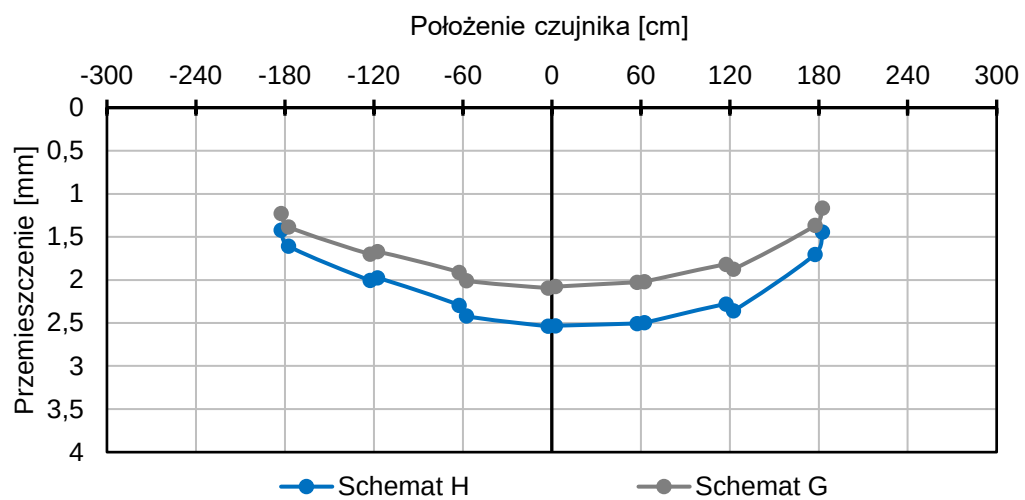
a)



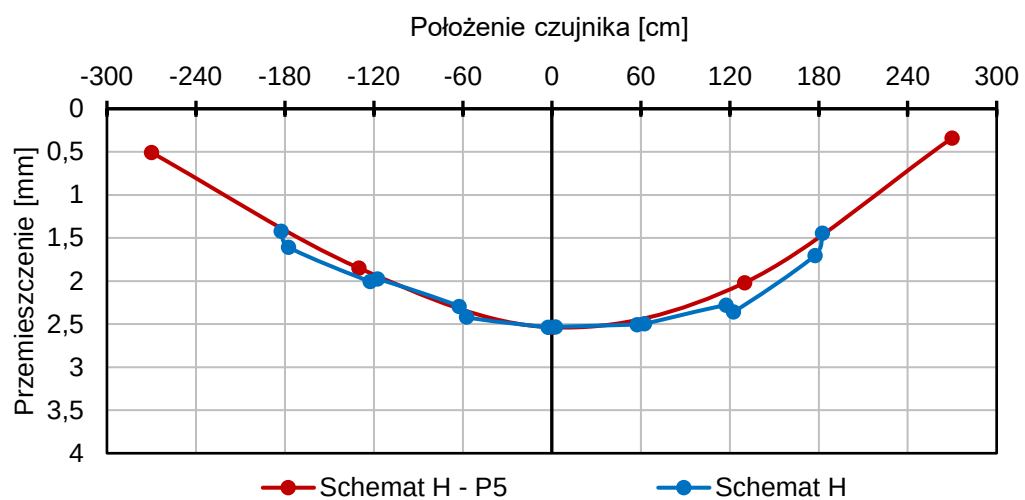
b)



c)



d)

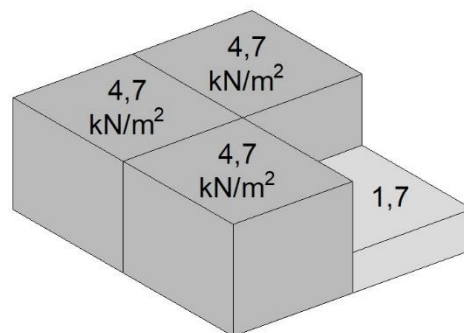


Rys. 30. Poziom H: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów z porównaniem do poprzedniego schematu, d) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów i osi prostopadłej do osi otworów

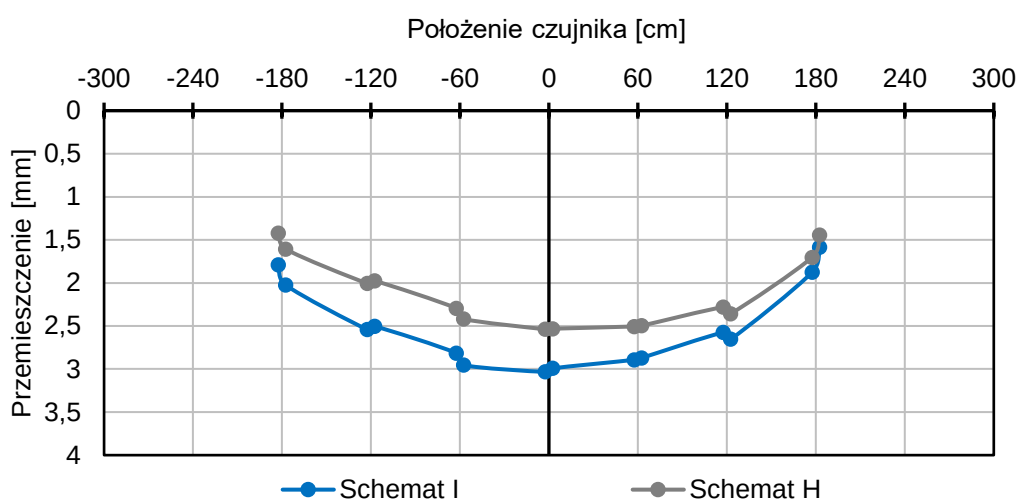
a)



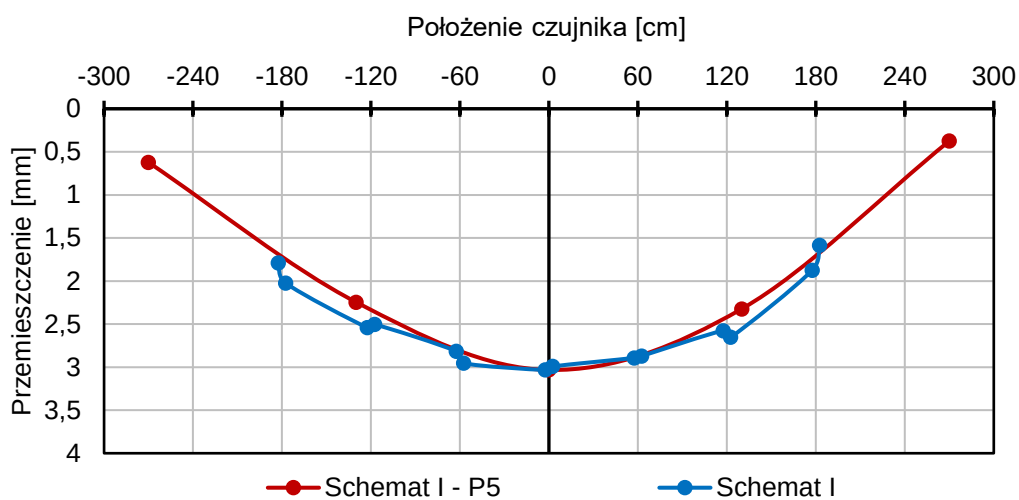
b)



c)



d)

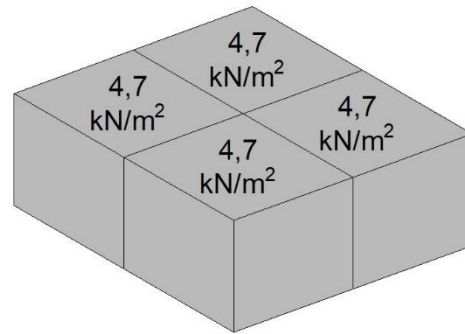


Rys. 31. Poziom I: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów z porównaniem do poprzedniego schematu, d) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów i osi prostopadłej do osi otworów

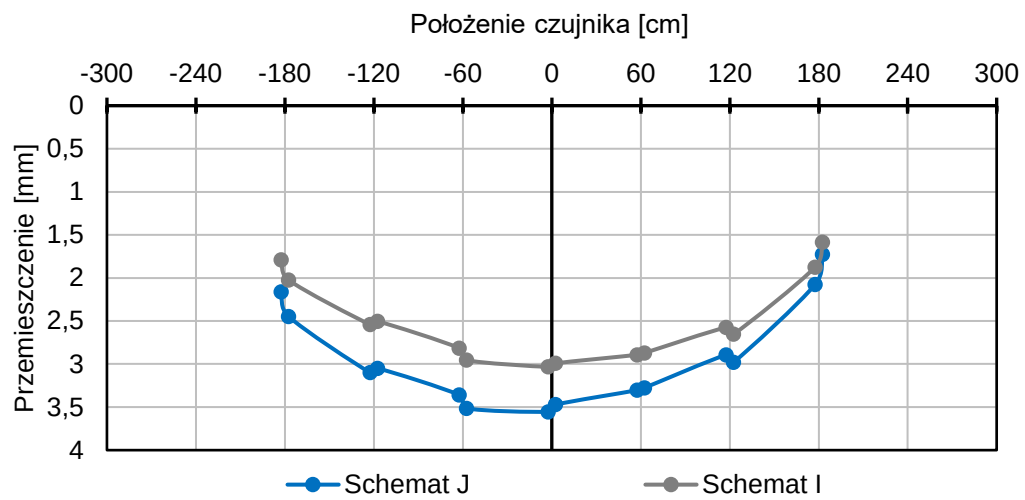
a)



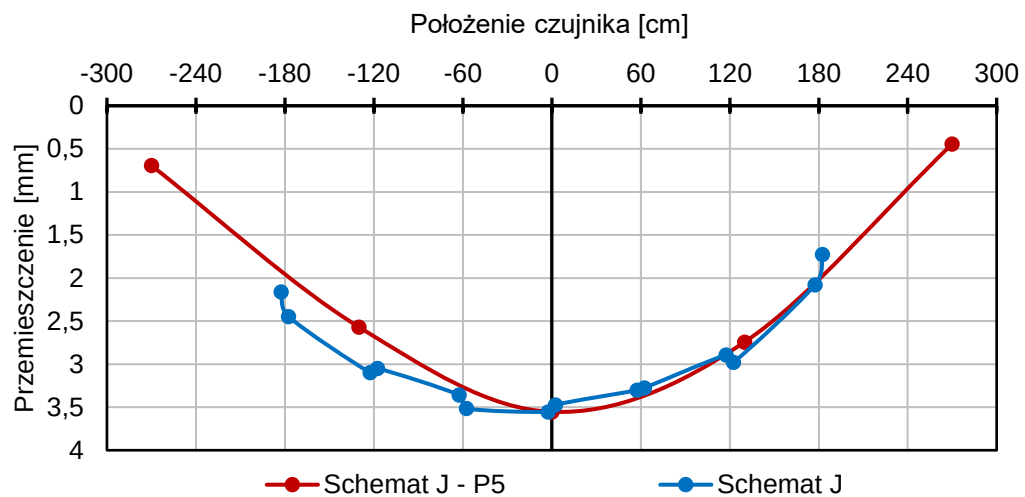
b)



c)



d)

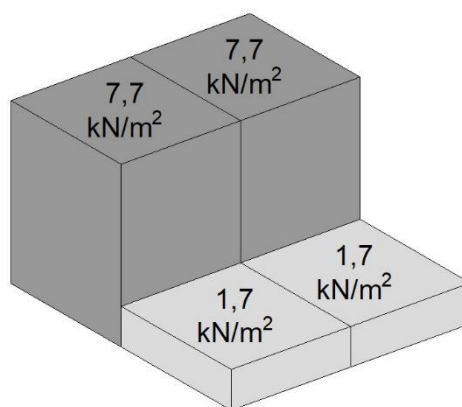


Rys. 32. Poziom J: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów z porównaniem do poprzedniego schematu, d) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów i osi prostopadłej do osi otworów

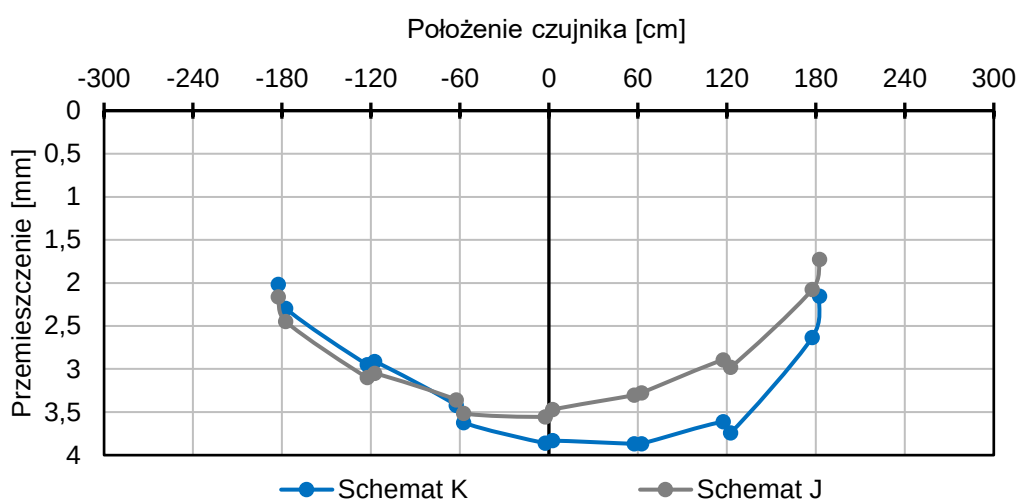
a)



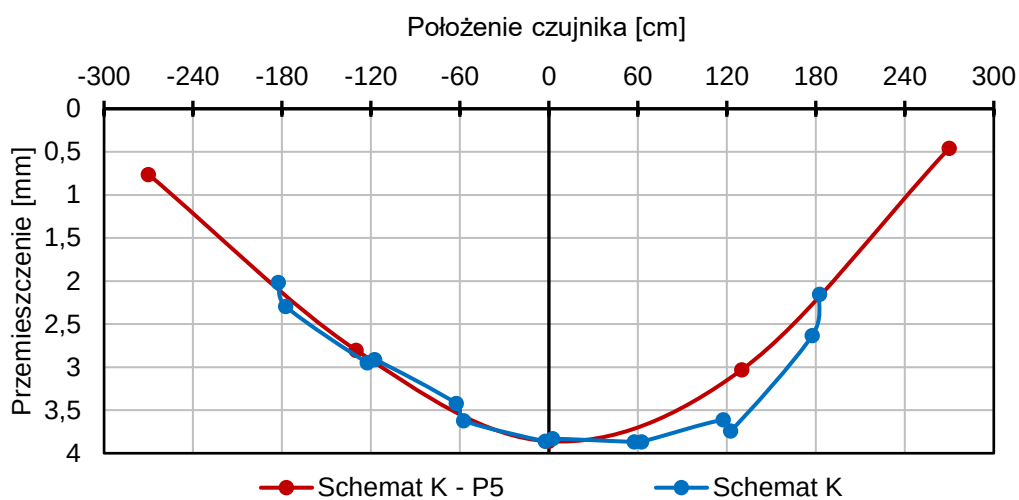
b)



c)



d)

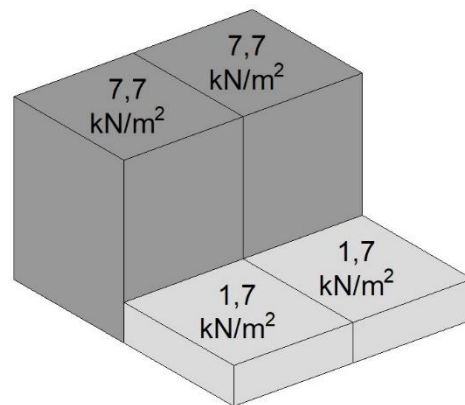


Rys. 33. Poziom K: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów z porównaniem do poprzedniego schematu, d) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów i osi prostopadłej do osi otworów

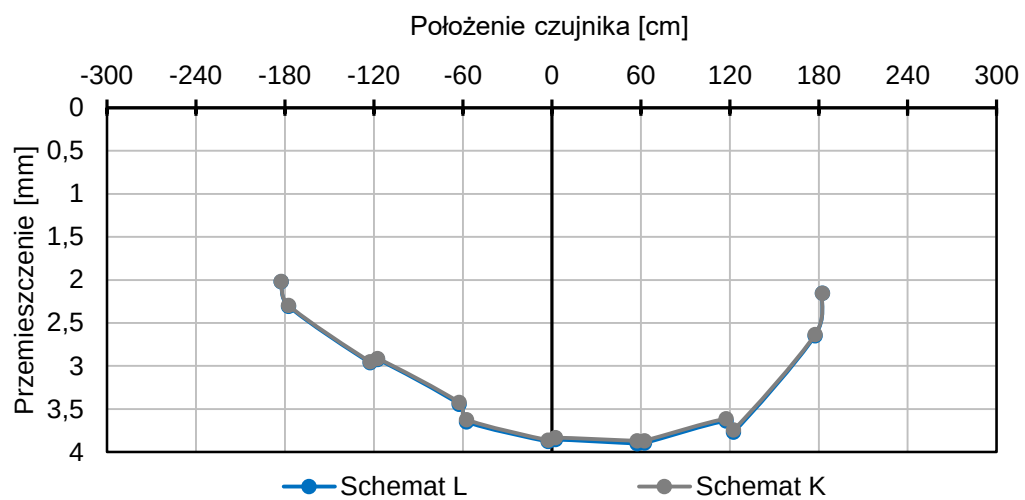
a)



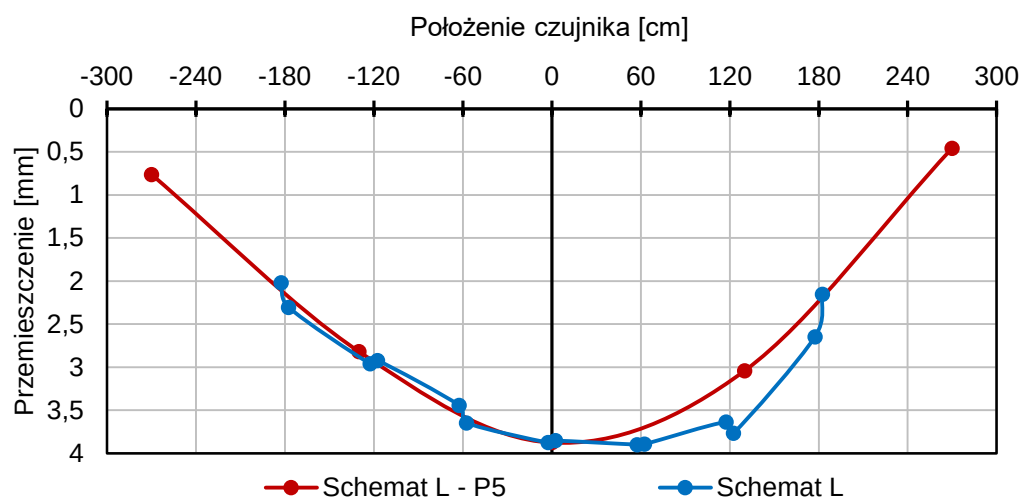
b)



c)



d)



Rys. 34. Poziom L: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów z porównaniem do poprzedniego schematu, d) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów i prostopadłej do osi otworów

5.1.2 Zarysowania

W czasie prowadzonych badań prowadzona była również inwentaryzacja rozwoju zarysowań dolnej powierzchni płyty stropowej. Przed rozpoczęciem badania wykonano inwentaryzację, która nie wykazała zarysowań powierzchni stropu. W trakcie trwania badania nie zaobserwowano powstania rys widocznych nieuzbrojonym okiem o szerokości $>0,05$ mm.

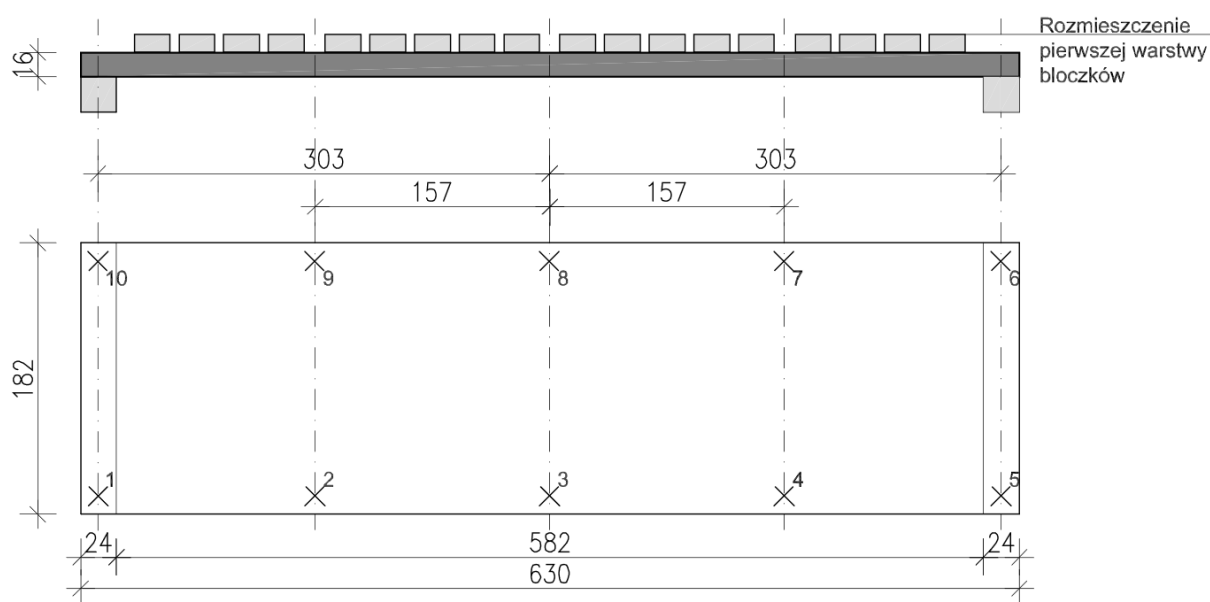


Rys. 35. Widok powierzchni dolnej płyty po zakończeniu pomiaru obciążenia doraźnego

5.2 Model pasmowy

5.2.1 Przemieszczenia od obciążeń doraźnych

Przemieszczenia doraźne były odczytywane za pomocą niwelatora i łąty o dokładności pomiaru równemu 1 mm. Na długości elementu wyznaczono 5 punktów pomiarowych na każdej z krawędzi modelu, położenie punktów pomiarowych pokazano na rys. 36. Na rys. 37 ÷ rys. 45 zamieszczono wyniki pomiarów w zależności od schematu obciążenia (opis schematów obciążenia zamieszczono w poprzednim podrozdziale). Różnica odczytów pomiędzy krawędziami modelu wynosiła maksymalnie mniej niż 5 mm, w związku z czym poniższe wyniki przedstawiono wyłącznie dla jednej z krawędzi, w której zanotowano największe przemieszczenia. Badania prowadzono aż do oparcia się stropu na posadowieniu, co nastąpiło w kroku 8, przy którym sumaryczne obciążenie przeliczone na powierzchnię przyłożenia (10.6 m^2) wynosiło $12,0 \text{ kN/m}^2$.



Rys. 36. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na długości pasma stropowego

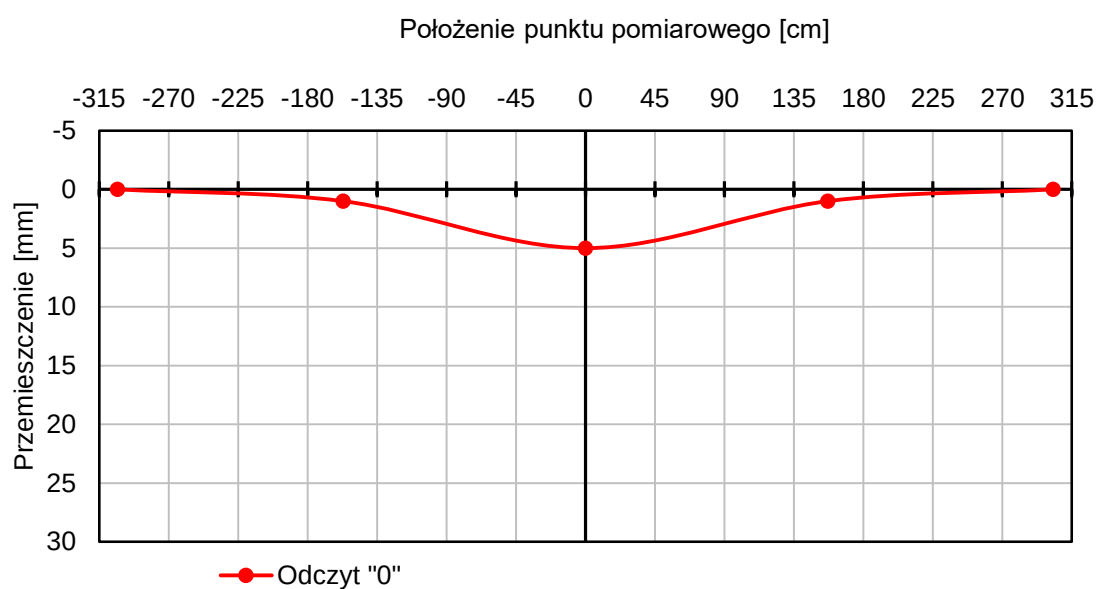
a)



b)



c)



Rys. 37. Odczyt „0”: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) przemieszczenia stropu

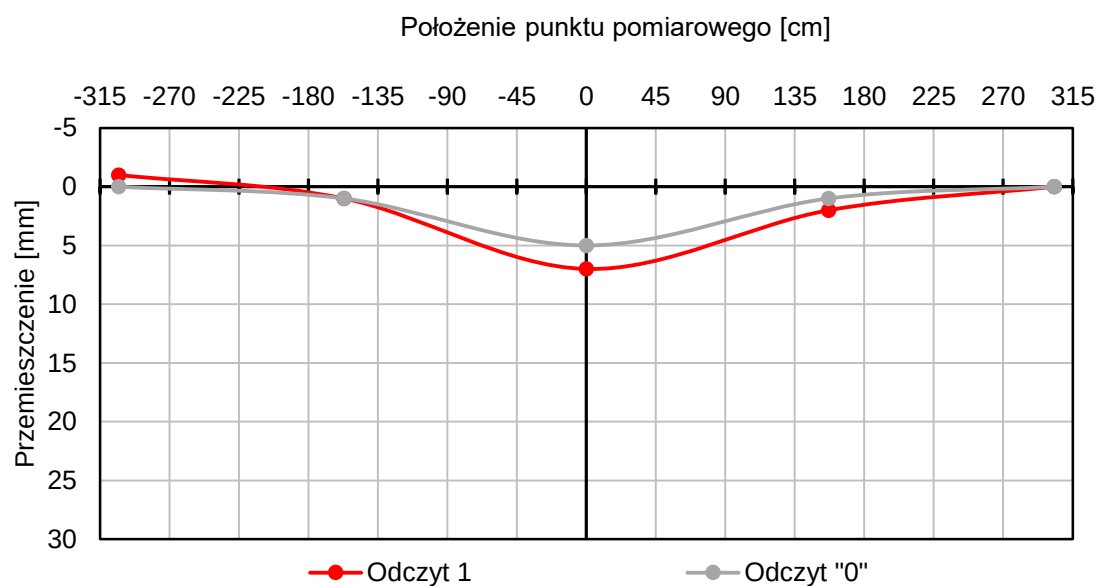
a)



b)



c)



Rys. 38. Odczyt 1: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) przemieszczenia stropu

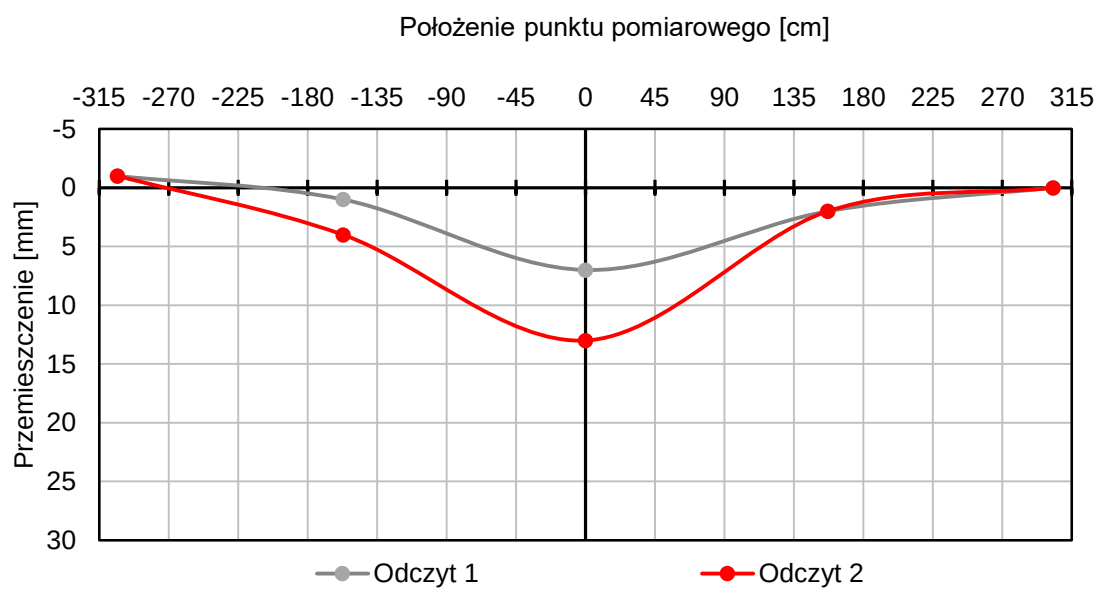
a)



b)



c)



Rys. 39. Odczyt 2: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) przemieszczenia stropu

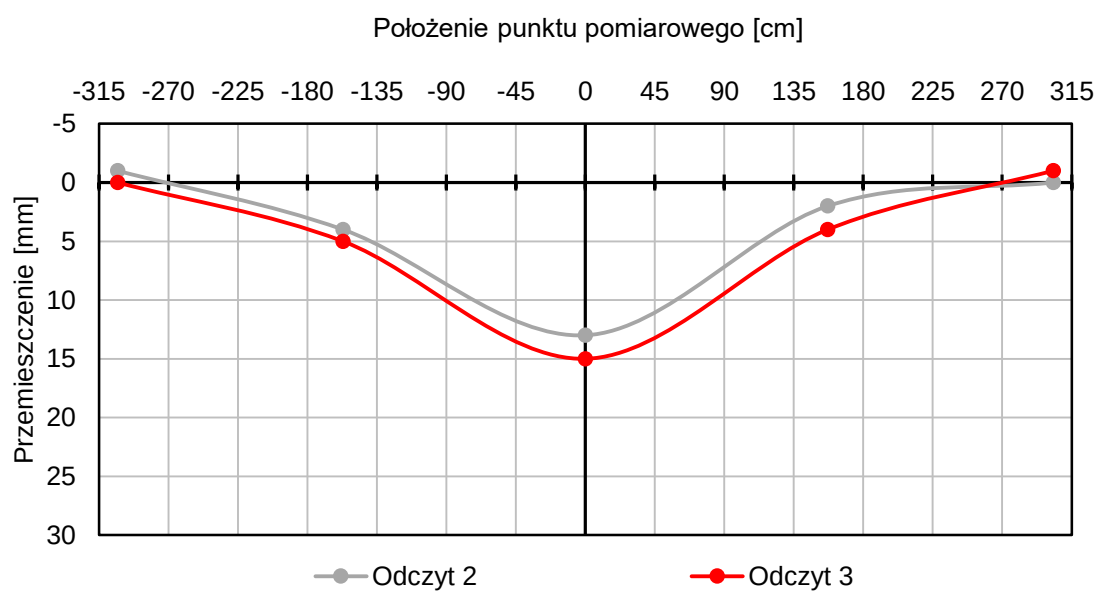
a)



b)



c)



Rys. 40. Odczyt 3: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) przemieszczenia stropu

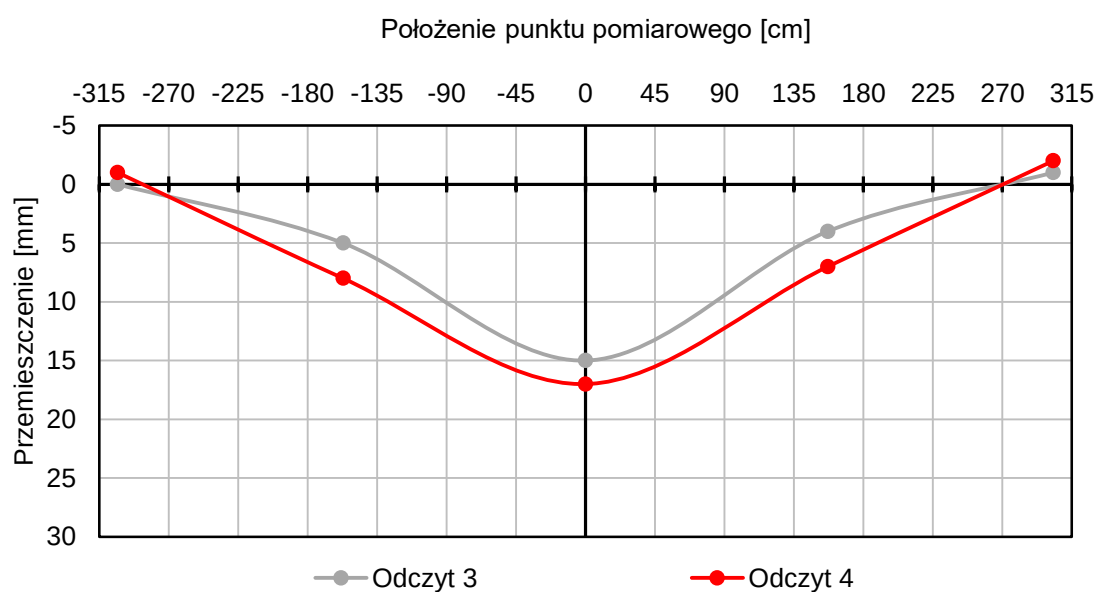
a)



b)

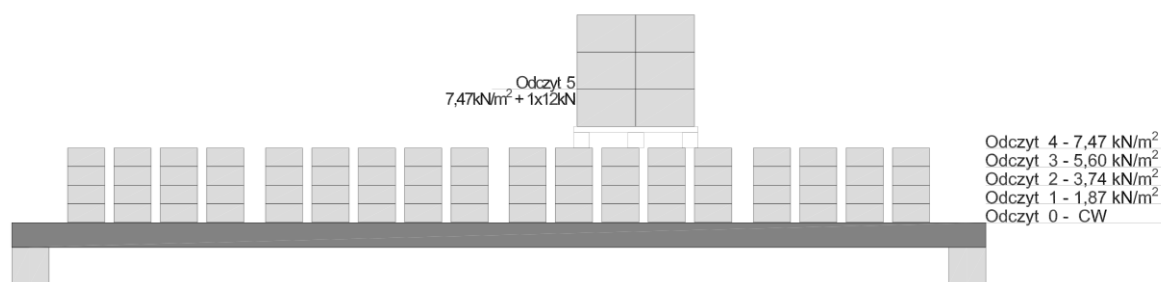


c)



Rys. 41. Odczyt 4: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) przemieszczenia stropu

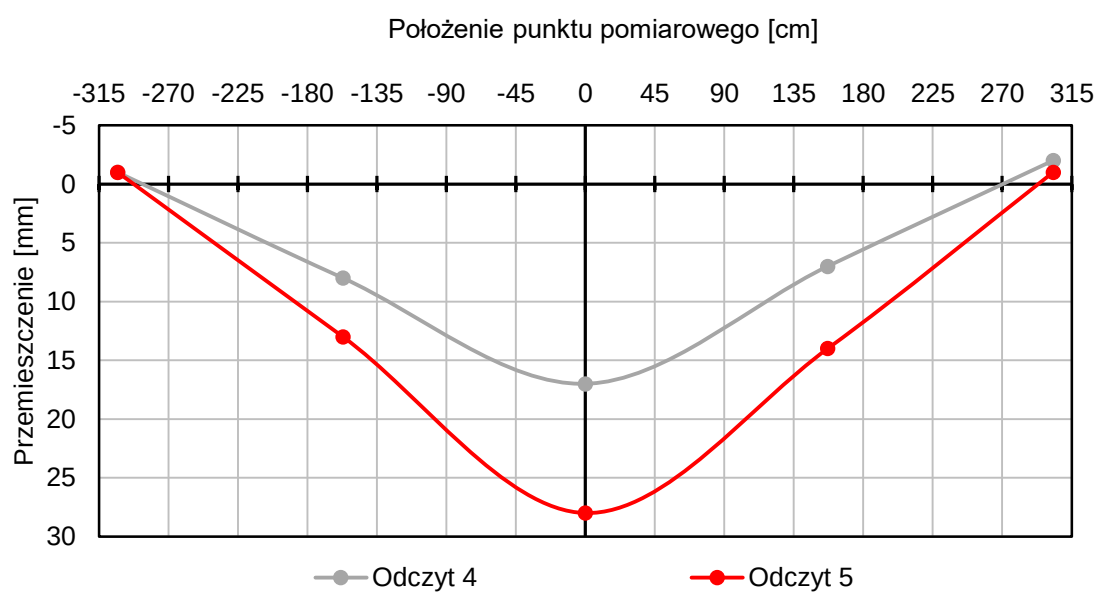
a)



b)

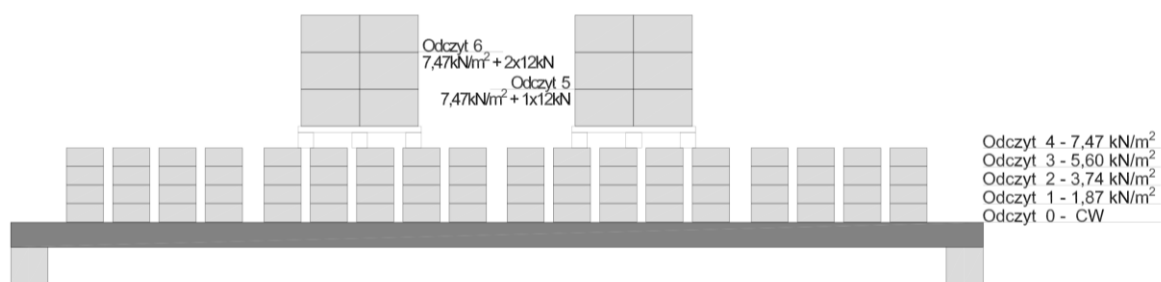


c)



Rys. 42. Odczyt 5: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) przemieszczenia stropu

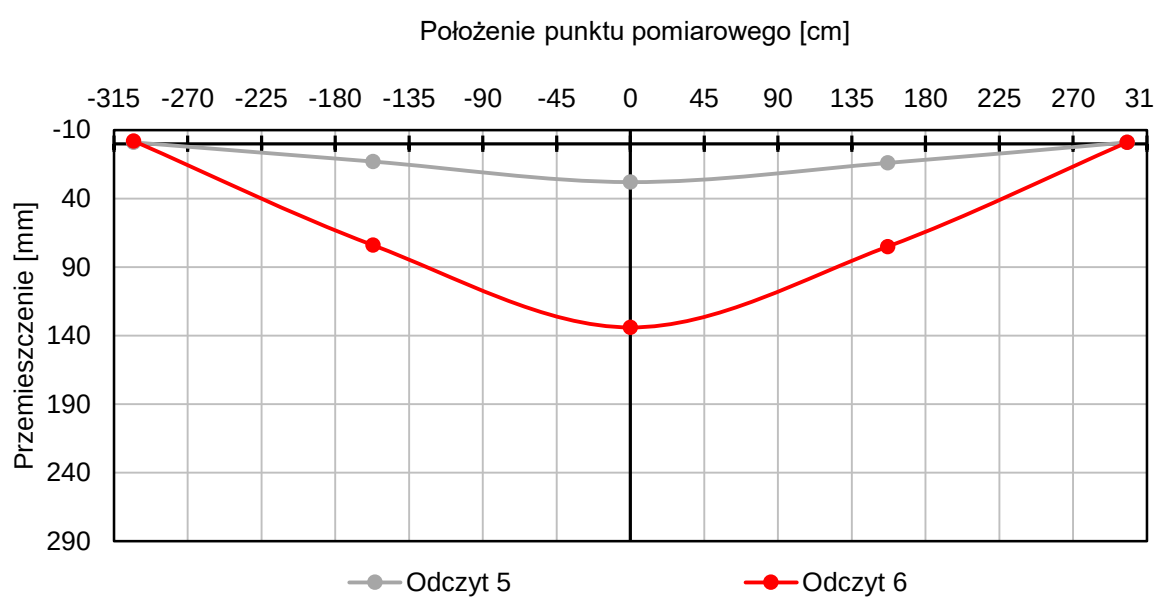
a)



b)

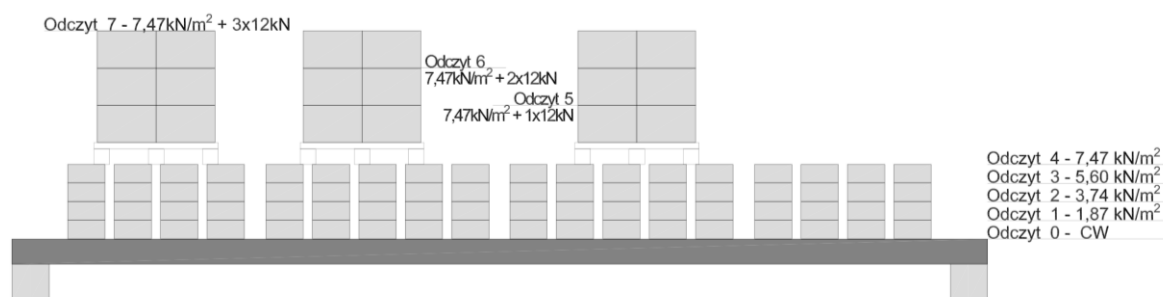


c)



Rys. 43. Odczyt 6: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) przemieszczenia stropu

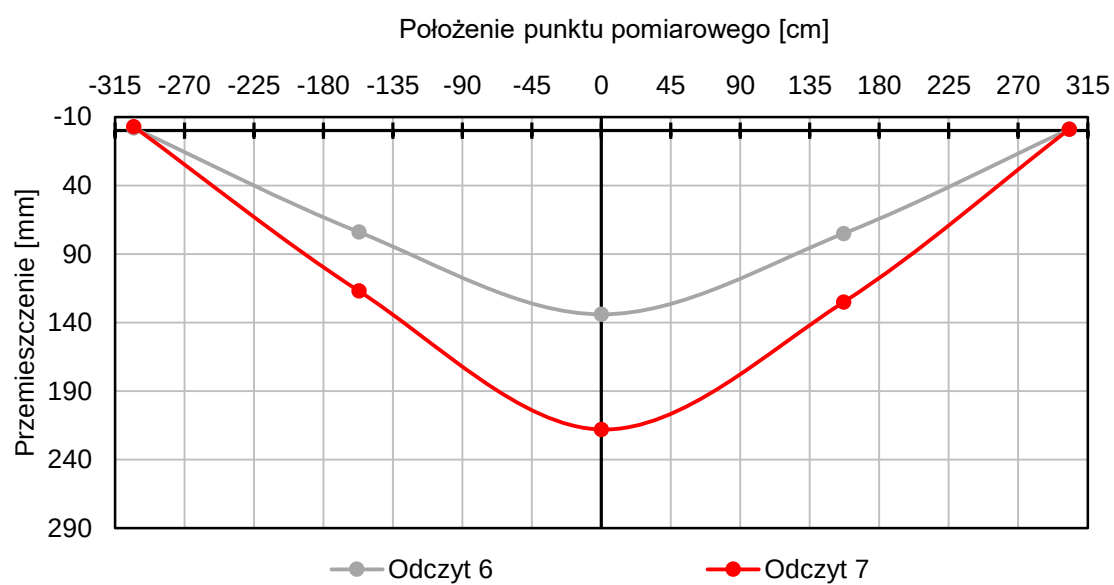
a)



b)

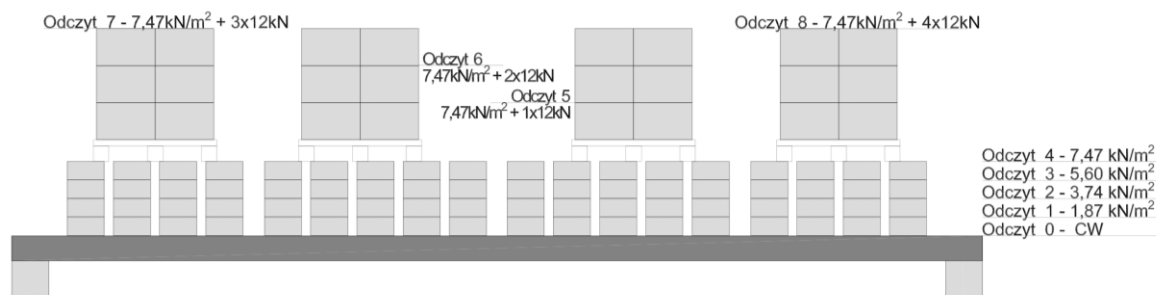


c)



Rys. 44. Odczyt 7: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) przemieszczenia stropu

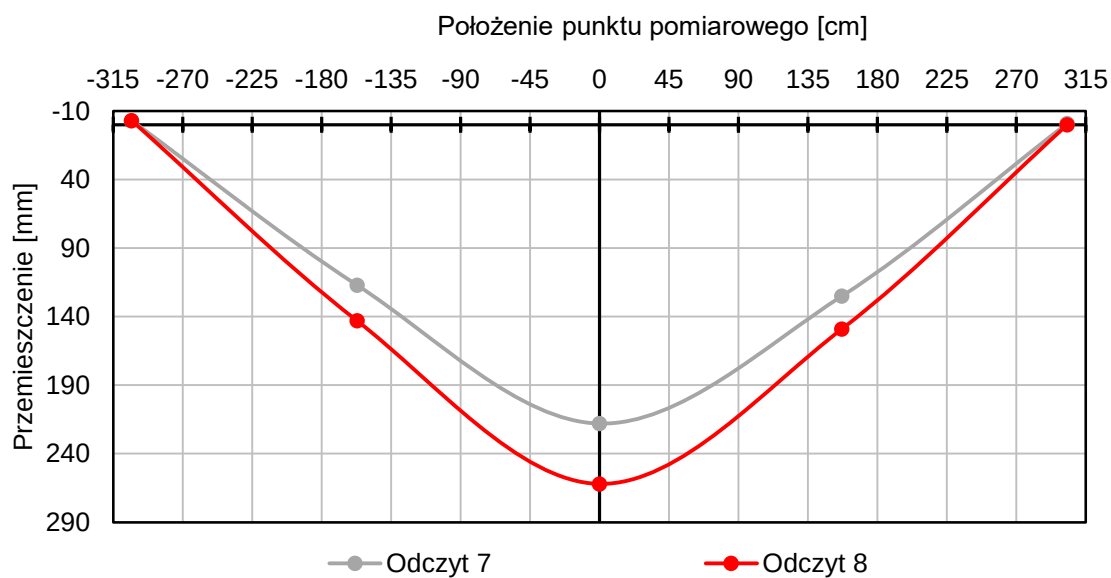
a)



b)



c)



Rys. 45. Odczyt 8: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) przemieszczenia stropu

5.2.2 Zarysowania

W trakcie badań prowadzona była inwentaryzacja rozwoju zarysowań dolnej powierzchni płyty stropowej. Przed rozpoczęciem badania wykonano inwentaryzację, która nie wykazała zarysowań powierzchni stropu. Po każdym kroku obciążenia sprawdzano powierzchnię dolną oraz boczną (styk prefabrykatu z nadbetonem), pierwsze zarysowania zaobserwowano po odczycie 5 tj. przyłożeniu obciążenia przez drugą z palet. Podczas wcześniejszych kroków, nie zanotowano zarysowań widocznych nieuzbrojonym okiem, o rozwarciu większym niż 0.05 mm. Występował jedynie obrót płyty na podporze pokazany na rys. 46.



Rys. 46. Obrót na podporze po odczycie 5

Powyższe obserwacje są zgodne z odczytywanymi wartościami, które przyrastały równomiernie aż do kroku nr 5. W kolejnym odczycie (nr 6) zanotowano nieproporcjonalnie większy wzrost wartości przemieszczeń, który wiązał się z pojawieniem zarysowań o rozwartości do 0.5 mm (rys. 47 - rys. 48). Jednocześnie zaobserwowano zarysowanie jednej z kształtek wieńcowych, na których wykonano oparcie stropu (rys. 48).



Rys. 47. Widok zarysowań na powierzchni bocznej po kroku 6



Rys. 48. Zarysowanie spodu płyty oraz obrót na podporze z zarysowaniem kształtki

Dołożenie trzeciej palety z bloczkami betonowymi skutkowało dalszym rozwojem zarysowań widocznym na rys. 49, głównie zwiększeniem rozwarcia rys w środku rozpiętości przęsła. Sumaryczne obciążenia wynosiło 10,9 kN/m².



Rys. 49. Widok zarysowań pasma po kroku 7

Pod wpływem ostatniego z przyłożonych obciążeń, wydzielone pasmo stropowe oparło się na podkładce ułożonej na posadzce. Z tego względu nie jest możliwe określenie czy przyłożona wartość obciążenia, była siłą niszczącą. Sumaryczna wartość obciążenia grawitacyjnego ponad ciężar własny stropu ułożonego na górnej powierzchni pasma wynosiła 12 kN/m^2 . Zasięg występowania zarysowań na szerokości i wysokości elementu przedstawiono na rys. 50.



Rys. 50. Widok zarysowań wraz z rysą dominującą w środku rozpiętości przęsła

Rozwartość rysy dominującej w środku rozpiętości wynosiła $\sim 2,0$ mm. Zarysowania w odległości $\sim 1/4$ od podpory miały rozwartość w zakresie od 0.1 mm do 0.2 mm.



Rys. 51. Zarysowania pasma w $1/4$ rozpiętości przęsła

Zanotowany obrót na podporze spowodował podniesienie krawędzi stropu o ~ 30 mm, pasma stropowe opierały się za pomocą prefabrykowanych kształtek wieńcowych jedynie na krawędzi bloczka z betonu komórkowego.



Rys. 52. Obrót stropu wraz z wieńcem na podporze

6 Analiza wyników

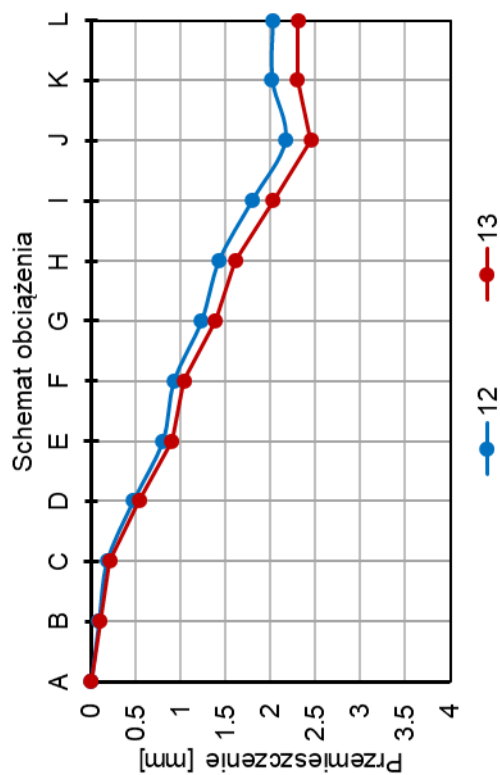
6.1 Klawiszowanie stropów – model przestrzenny

Jednym z głównych problemów przy wykonywaniu zespolonych stropów jest pojawiający się problem pionowych przemieszczeń pomiędzy sąsiednimi płytami tzw. klawiszowanie. W celu sprawdzenia, czy wystąpi zjawisko klawiszowania czujniki indukcyjne umieszczono na sąsiadujących płytach w bardzo małej odległości od siebie (trzcień każdego czujnika znajdował się w odległości około 10 mm od szczeliny pomiędzy płytami - rys. 53) i określano różnicę pionowych przemieszczeń. Na rys. 54 ÷ rys. 66 zamieszczono wykresy przemieszczeń w poszczególnych punktach pomiarowych (schemat rozmieszczenia czujników - rys. 21) oraz określone na ich podstawie różnice przemieszczeń pomiędzy sąsiednimi płytami.

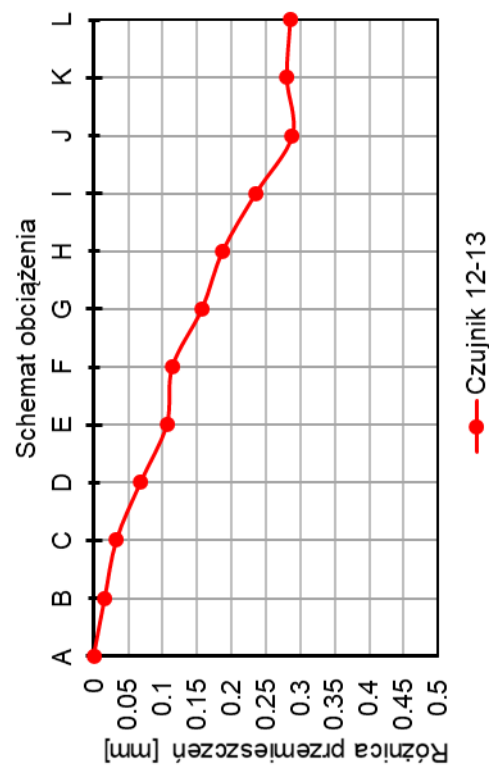


Rys. 53. Szczegół montażu czujników indukcyjnych do pomiaru klawiszowania stropu

a)

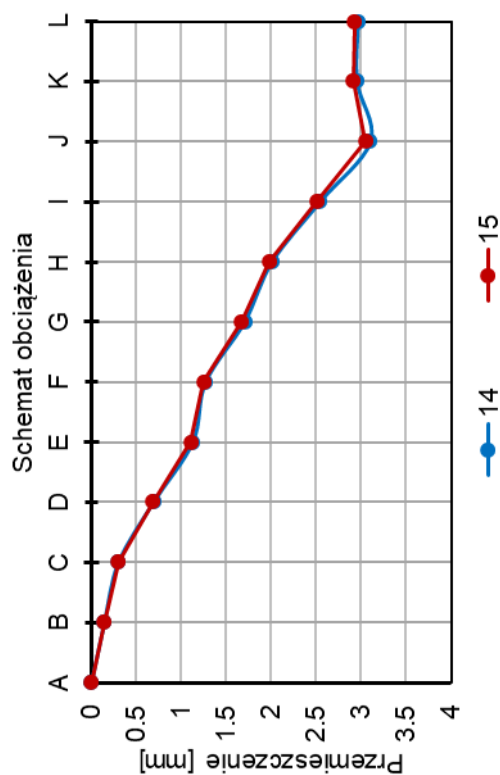


b)

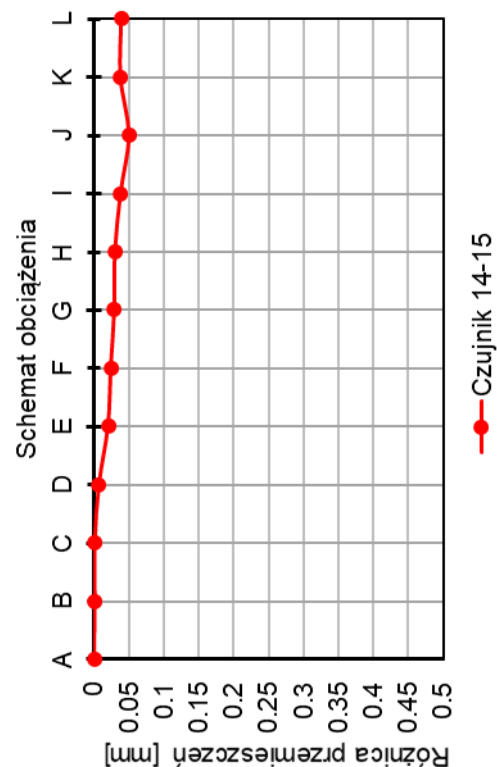


Rys. 54. Czujniki 12 i 13: a) wykres przemieszczeń, b) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami

a)

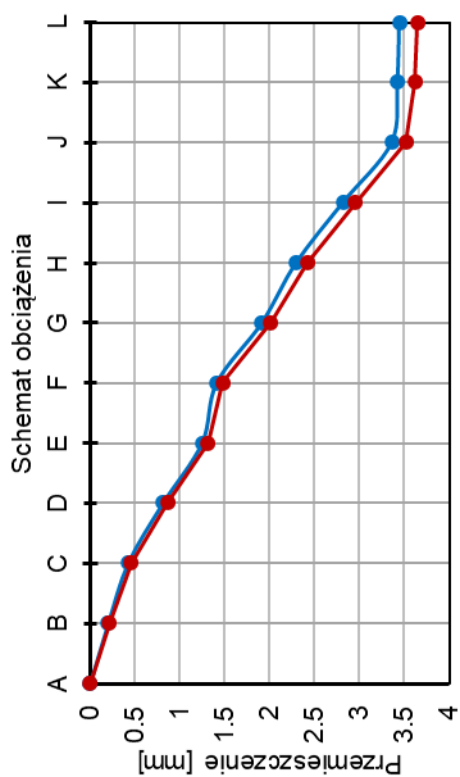


b)

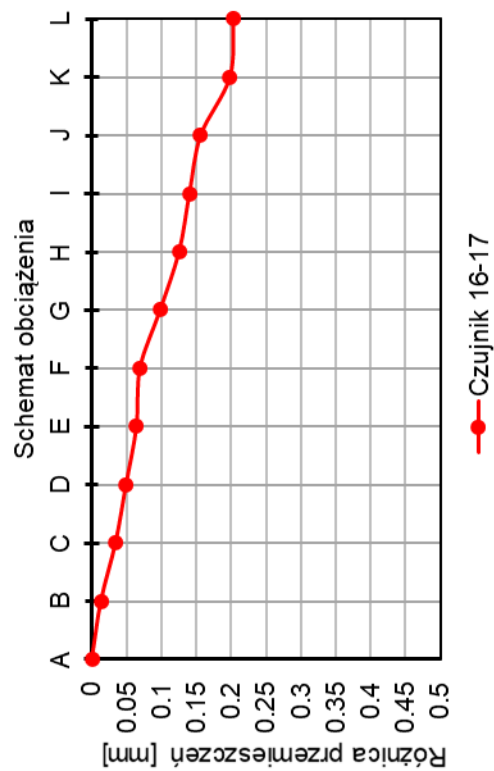


Rys. 55. Czujniki 14 i 15: a) wykres przemieszczeń, b) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami

a)



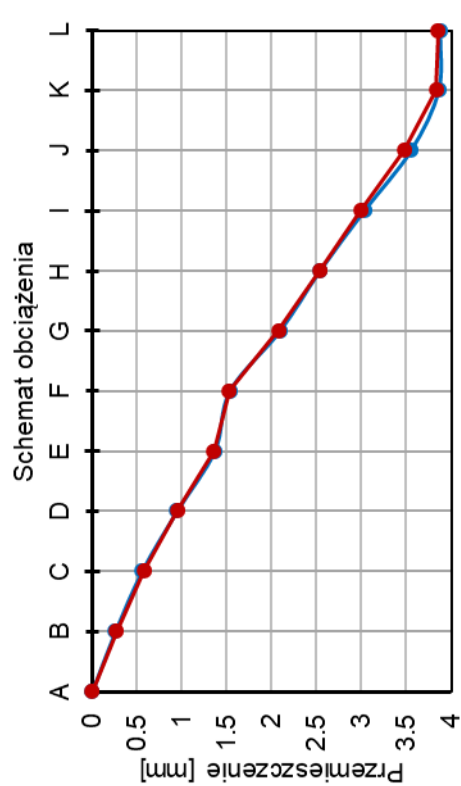
b)



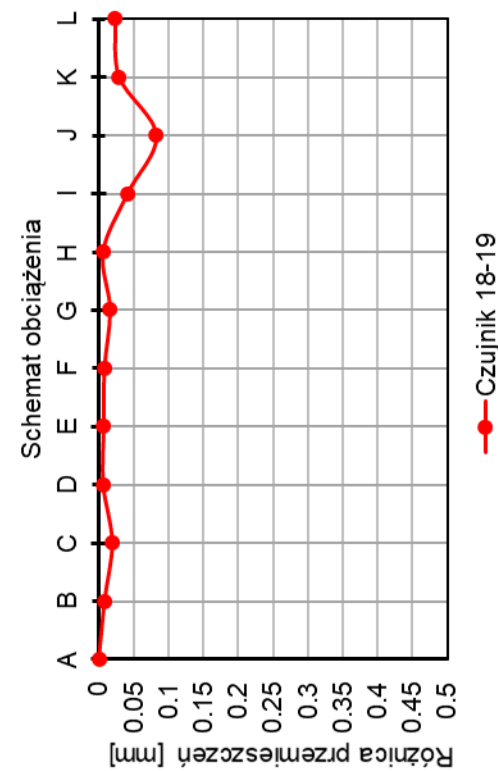
—●— Czujnik 16-17

Rys. 56. Czujniki 16 i 17: a) wykres przemieszczeń, b) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami

a)



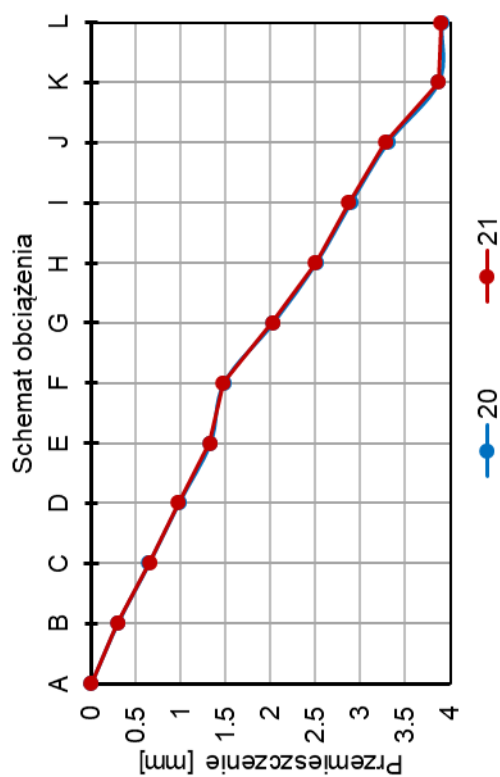
b)



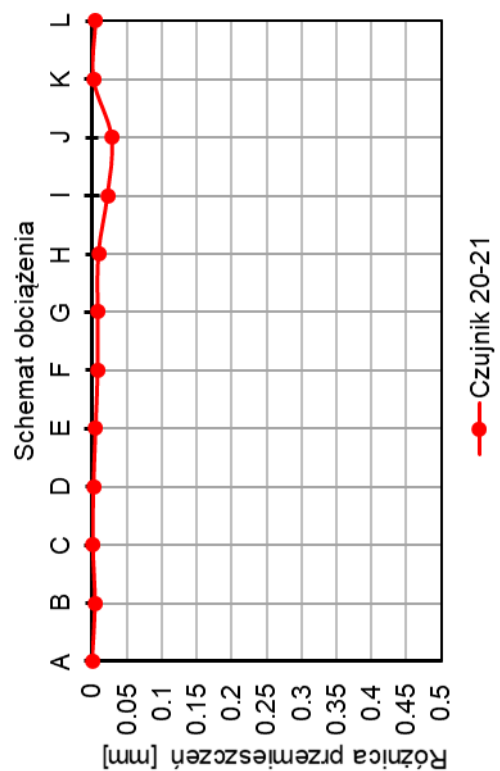
—●— Czujnik 18-19

Rys. 57. Czujniki 18 i 19: a) wykres przemieszczeń, b) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami

a)

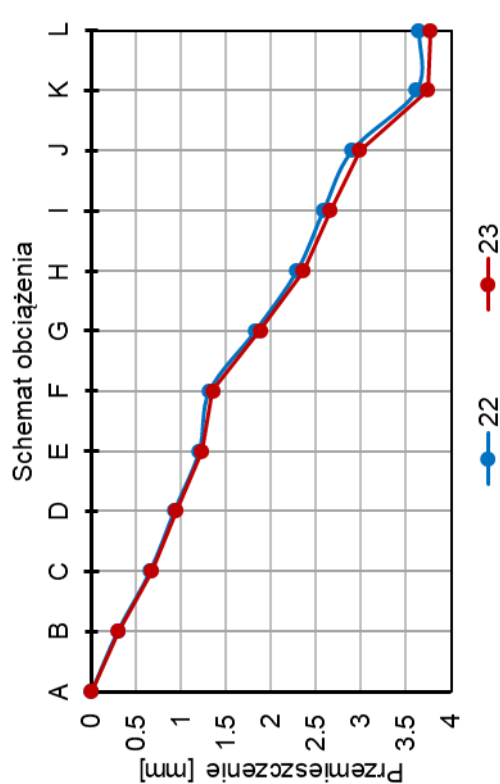


b)

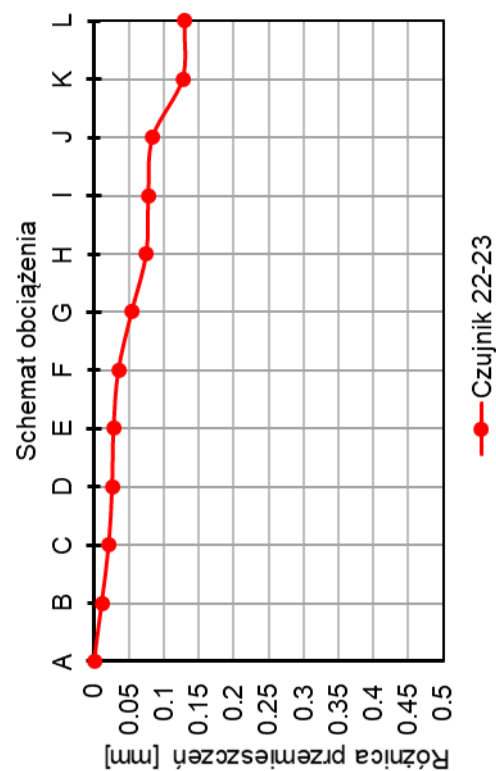


Rys. 58. Czujniki 20 i 21: a) wykres przemieszczeń, b) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami

a)

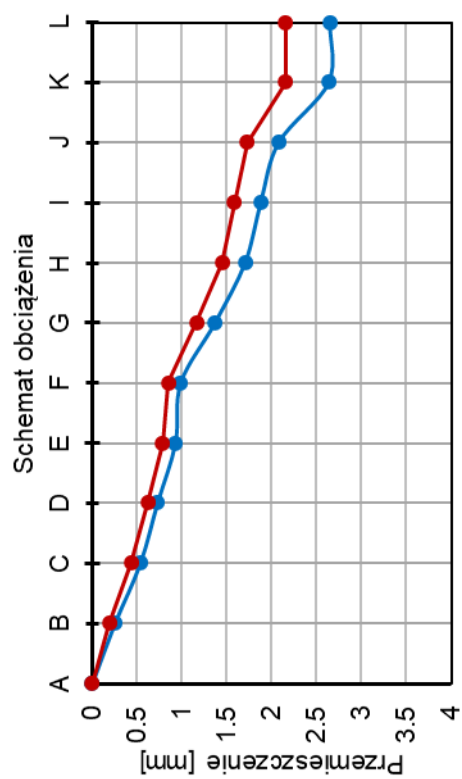


b)

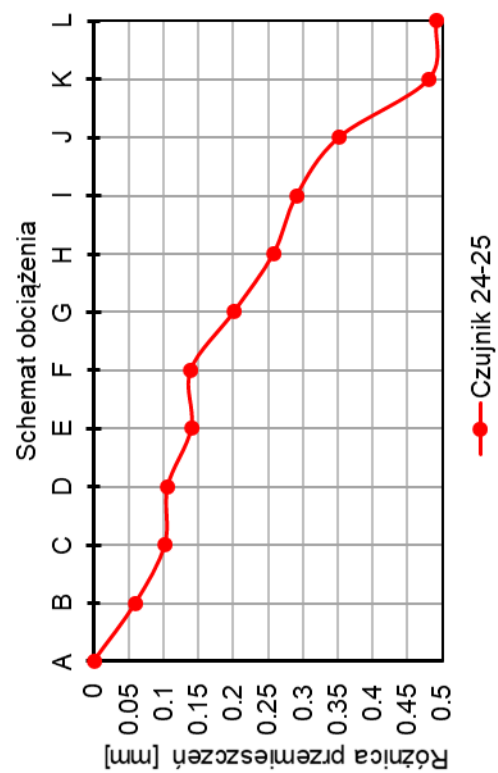


Rys. 59. Czujniki 22 i 23: a) wykres przemieszczeń, b) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami

a)

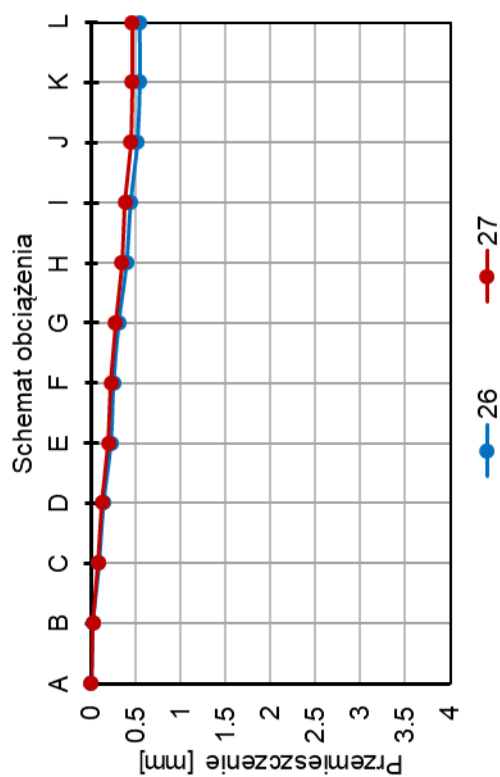


b)

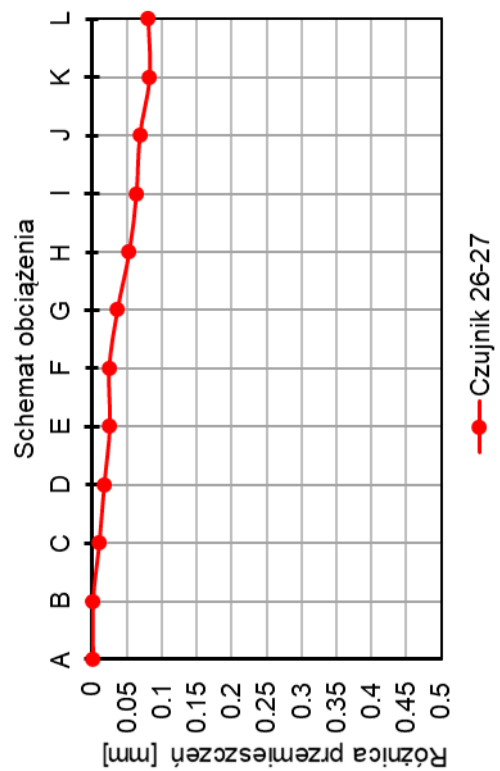


Rys. 60. Czujniki 24 i 25: a) wykres przemieszczeń, b) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami

a)

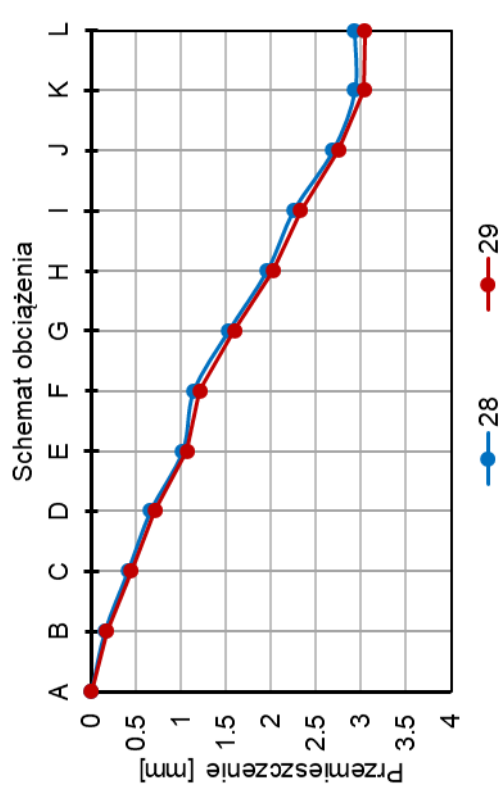


b)

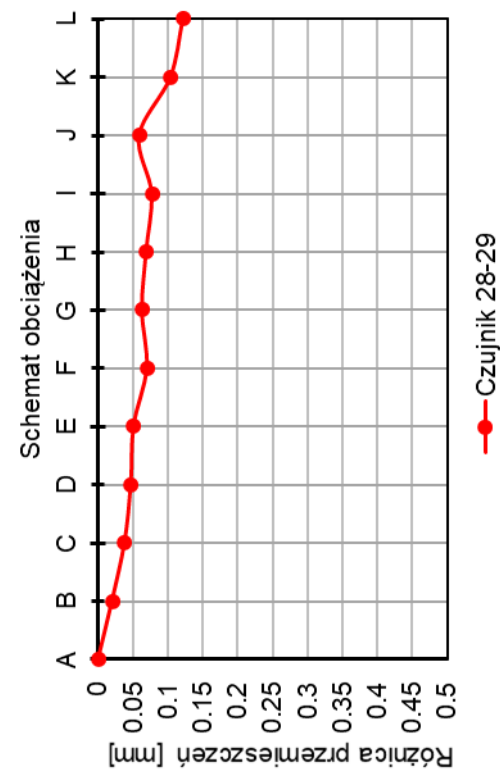


Rys. 63. Czujniki 26 i 27: a) wykres przemieszczeń, b) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami

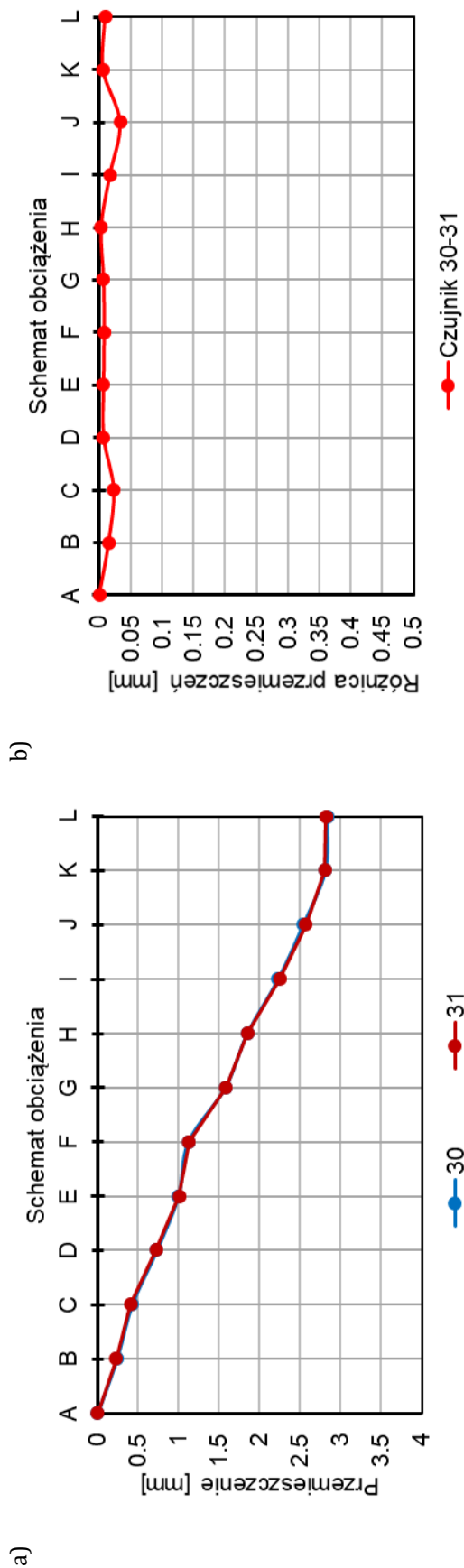
a)



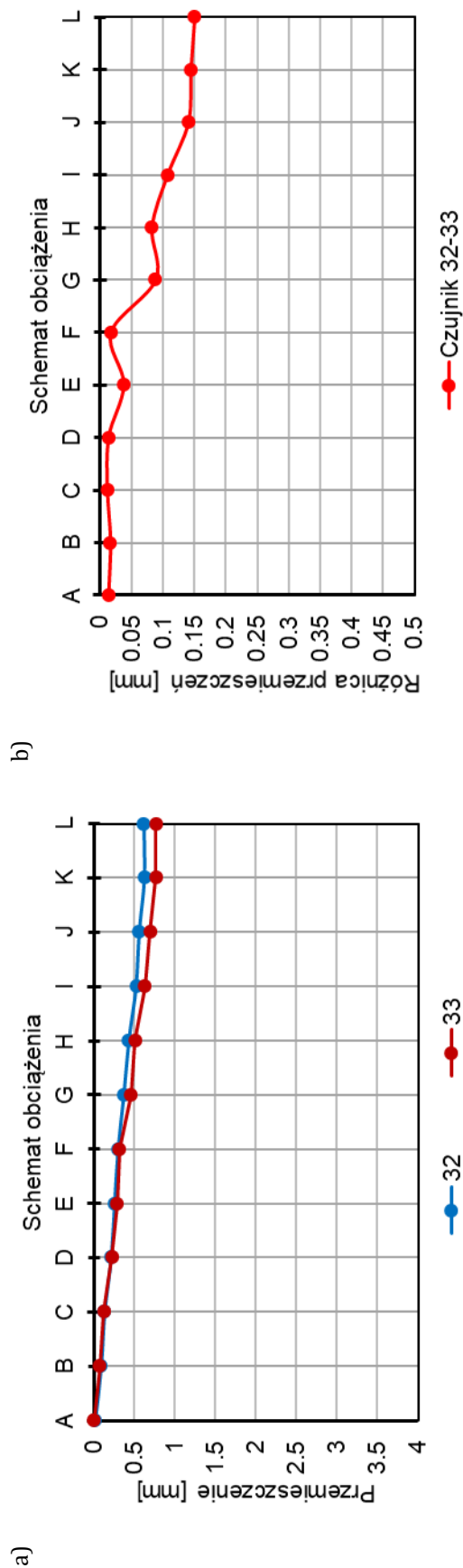
b)



Rys. 64. Czujniki 28 i 29: a) wykres przemieszczeń, b) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami



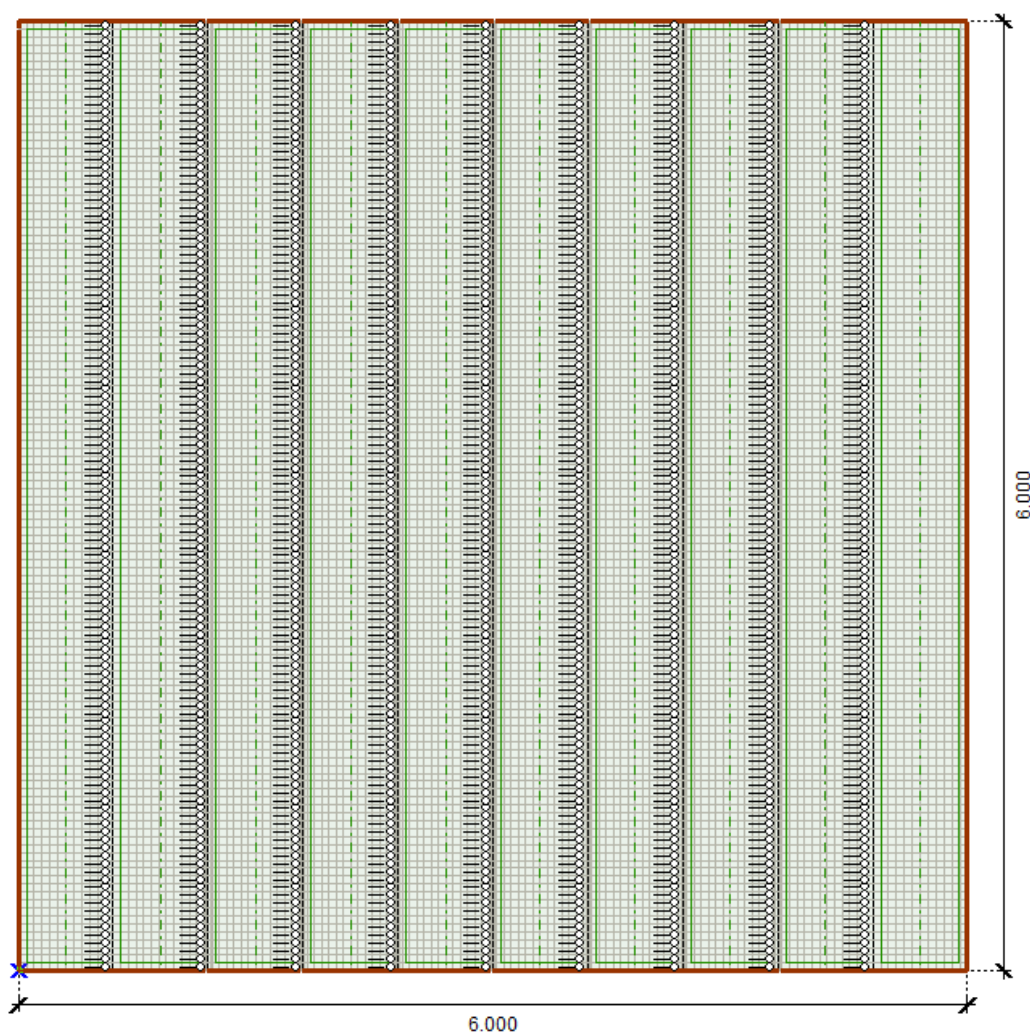
Rys. 65. Czujniki 30 i 31: a) wykres przemieszczeń, b) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami



Rys. 66. Czujniki 32 i 33: a) wykres przemieszczeń, b) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami

6.2 Obliczenia numeryczne – model przestrzenny

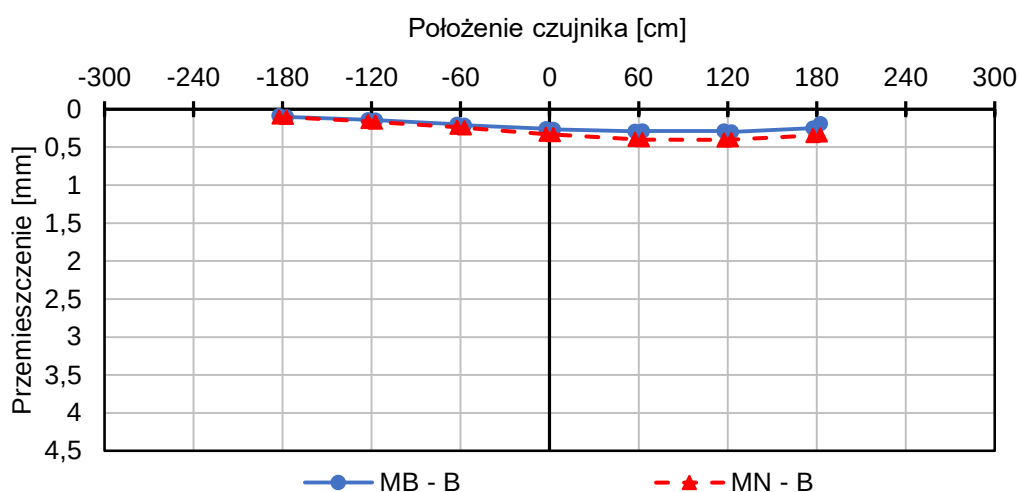
Wykonano model numeryczny w przybliżeniu odzwierciedlający zachowanie się badanego stropu. W tym celu wykorzystano program AxisVM X5. Strop zamodelowano o wymiarach geometrycznych w rzucie 6,0 x 6,0 m (rys. 67), składający się z pojedynczych płyt szerokości 60 cm i długości 6,0 m. W modelu pominięto wypełnienie z styrobetonu, panele o grubości 160 mm zamodelowano jak płyty z otworem/kanalem o wymiarach: szer. 250 mm, wys. 80 mm. Ze względu na konstrukcję zamka łączącego płyty oraz brak zbrojenia styków założono, połączenie przegubowe płyt po długości styku. Założenie te przyjęto przez analogię do współpracy poprzecznej płyt kanałowych, której mechanizm została przedstawiony w wielu badaniach [4][6], a zalecenie uwzględniania wspomnianego efektu zostało sformułowane już wiele lat temu przez prof. Starosolskiego [5].



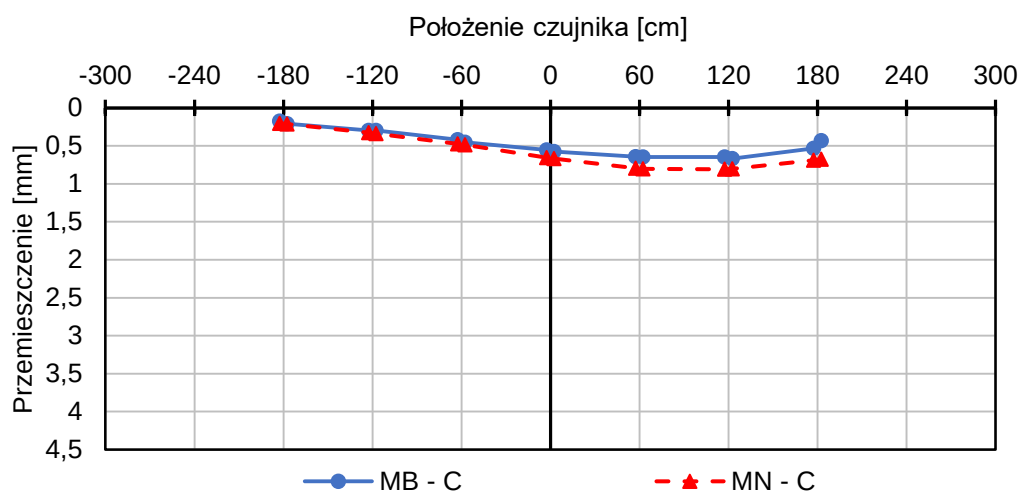
Rys. 67. Rzut modelu numerycznego

Obliczenia ugięć wykonano w stanie sprężystym z pominięciem degradacji sztywności przekrojów spowodowanych zarysowaniem. Takie postępowanie było uzasadnione ponieważ nie stwierdzono nieproporcjonalnych wzrostów ugięć oraz zarysowań dolnej i górnej powierzchni stropów. Przyjęto beton klasy C40/50. Zbrojenie sprężające obliczanego typu panelu, generuje wyłącznie ściskanie osiowe oddziałujące w osi prefabrykatu, w związku z czym nie jest konieczne jego zamodelowanie w modelu płytowym. Model podparto na krawędziach umożliwiając obrót w sposób przegubowy.

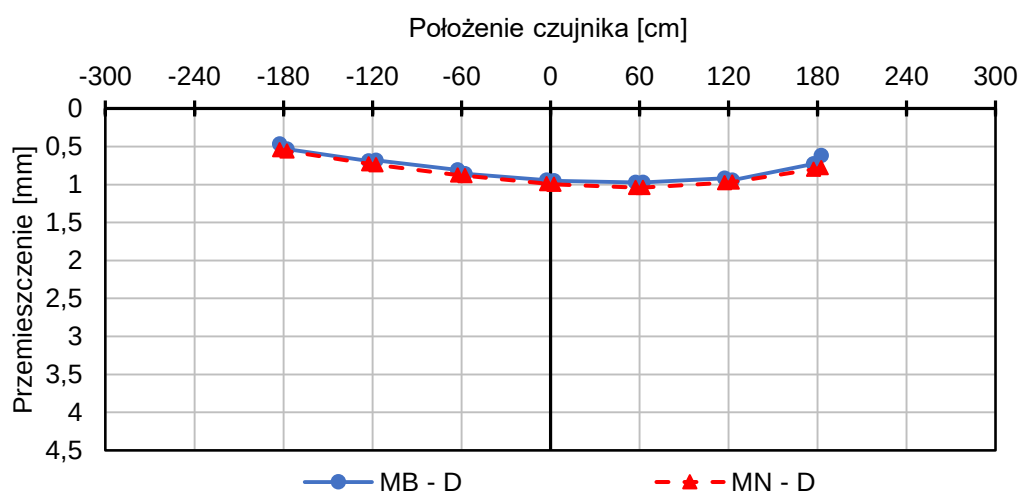
W miejscu występowania czujników, w modelu zamodelowano dodatkowy węzeł do odczytu wartości przemieszczenia. Na kolejno pokazanych wykresach, przedstawiono wykres przemieszczeń dla danego kroku obciążenia w przypadku modelu badawczego oraz modelu numerycznego. Model badawczy określany jest symbolem MB oraz linią ciągłą, a model numeryczny MN i linią przerywaną, litera po myślniku oznacza krok obciążenia. Obciążenie przykładano zgodnie z wcześniej przedstawionym schematem (rys. 19) z pominięciem kroków, w których dokonano tych samych pomiarów w godzinny odstęp czasu.



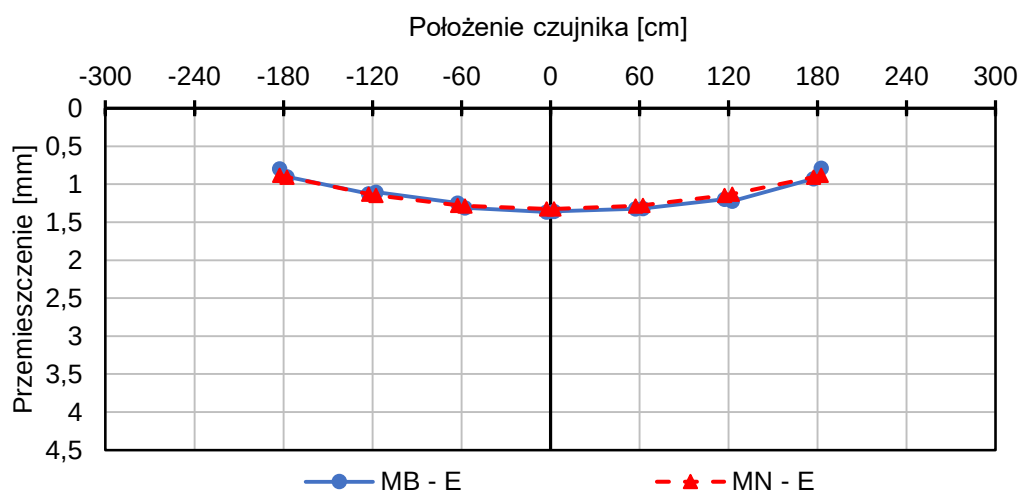
Rys. 68. Porównanie wyników badań z wynikami obliczeń numerycznych – schemat B



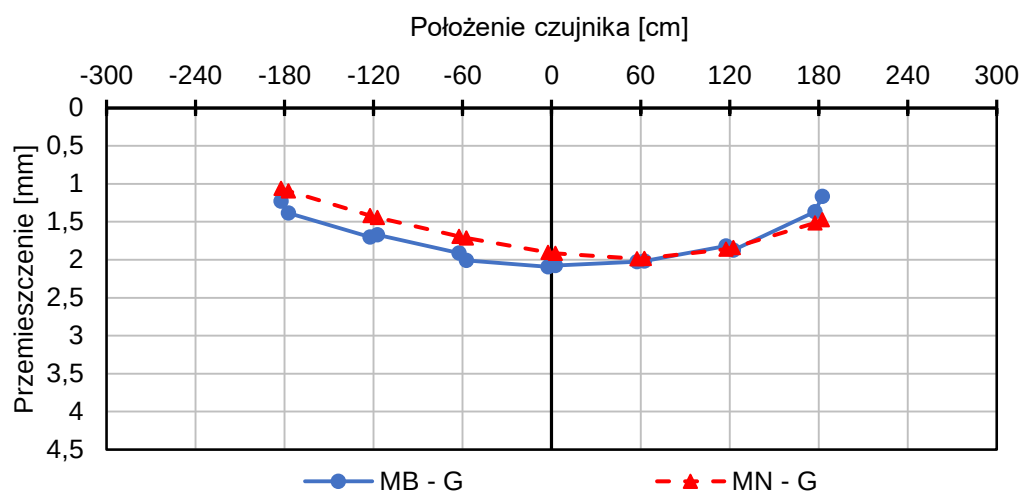
Rys. 69. Porównanie wyników badań z wynikami obliczeń numerycznych – schemat C



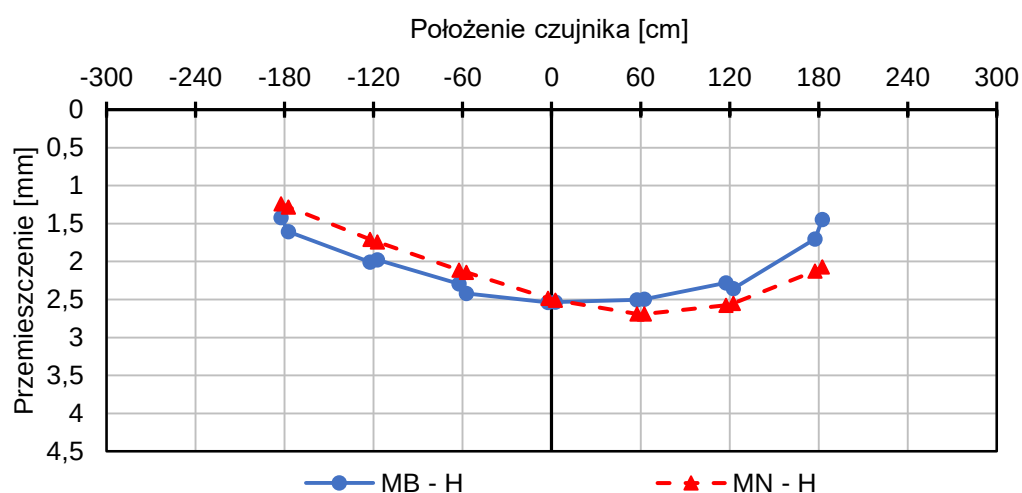
Rys. 70. Porównanie wyników badań z wynikami obliczeń numerycznych – schemat D



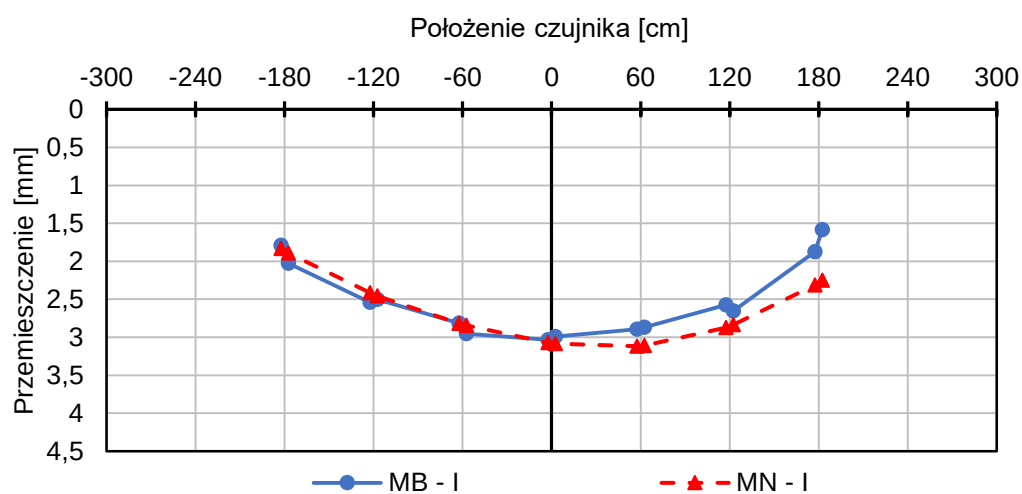
Rys. 71. Porównanie wyników badań z wynikami obliczeń numerycznych – schemat E



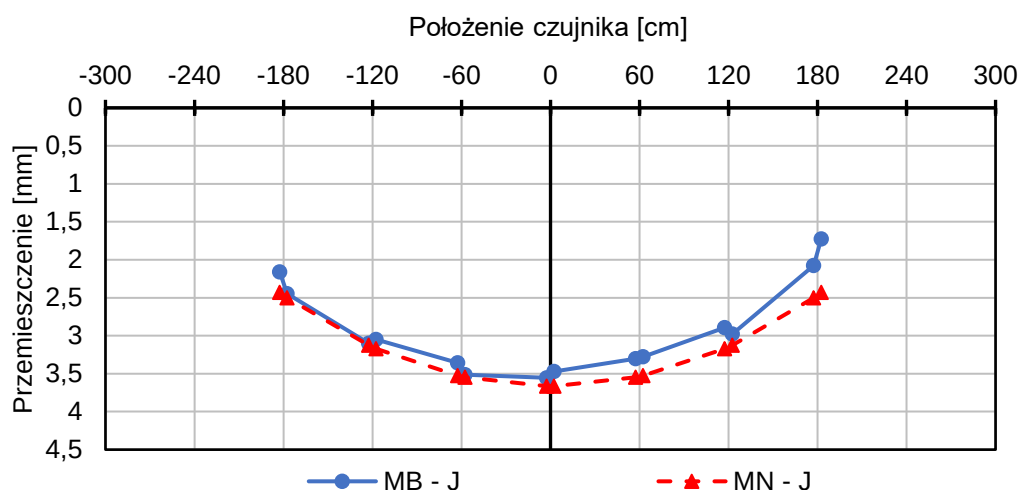
Rys. 72. Porównanie wyników badań z wynikami obliczeń numerycznych – schemat G



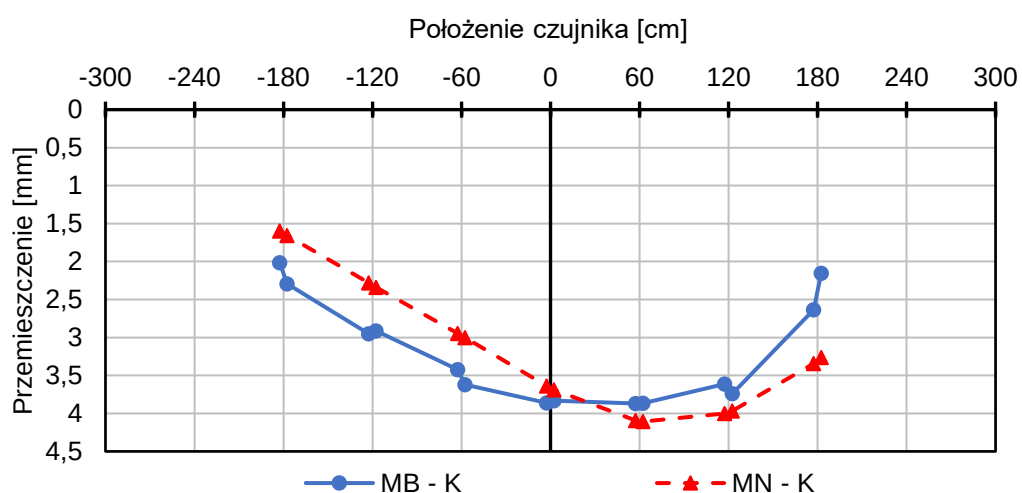
Rys. 73. Porównanie wyników badań z wynikami obliczeń numerycznych – schemat H



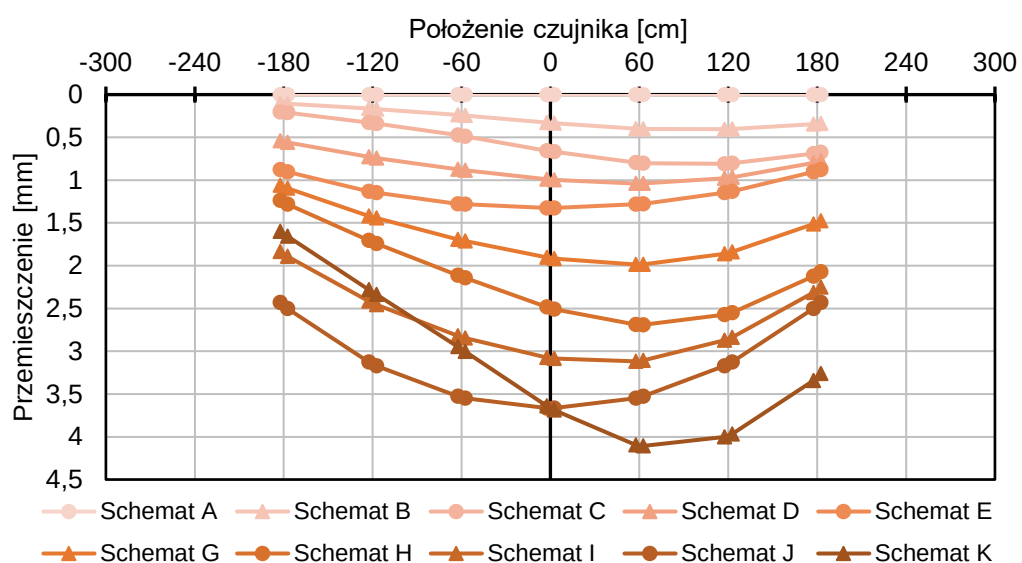
Rys. 74. Porównanie wyników badań z wynikami obliczeń numerycznych – schemat I



Rys. 75. Porównanie wyników badań z wynikami obliczeń numerycznych – schemat J



Rys. 76. Porównanie wyników badań z wynikami obliczeń numerycznych – schemat K



Rys. 77. Przemieszczenie w osi otworów dla każdego z schematów obciążenia – MN

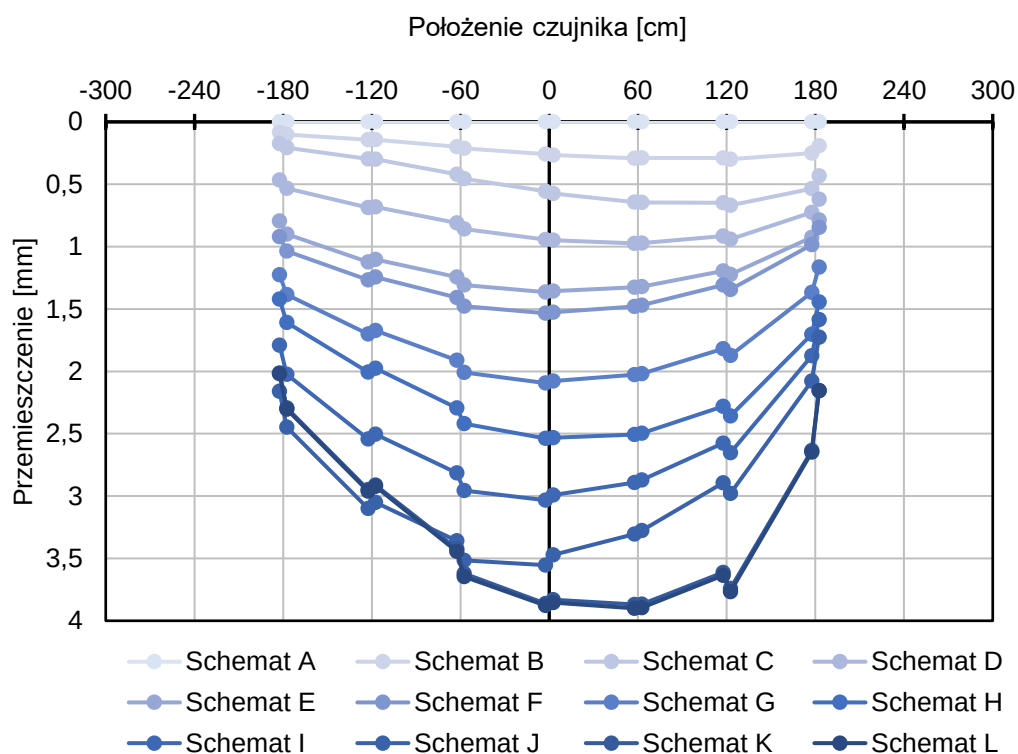
6.3 Wnioski z badań

Na podstawie przeprowadzonych w czasie badań obserwacji i pomiarów można stwierdzić, że:

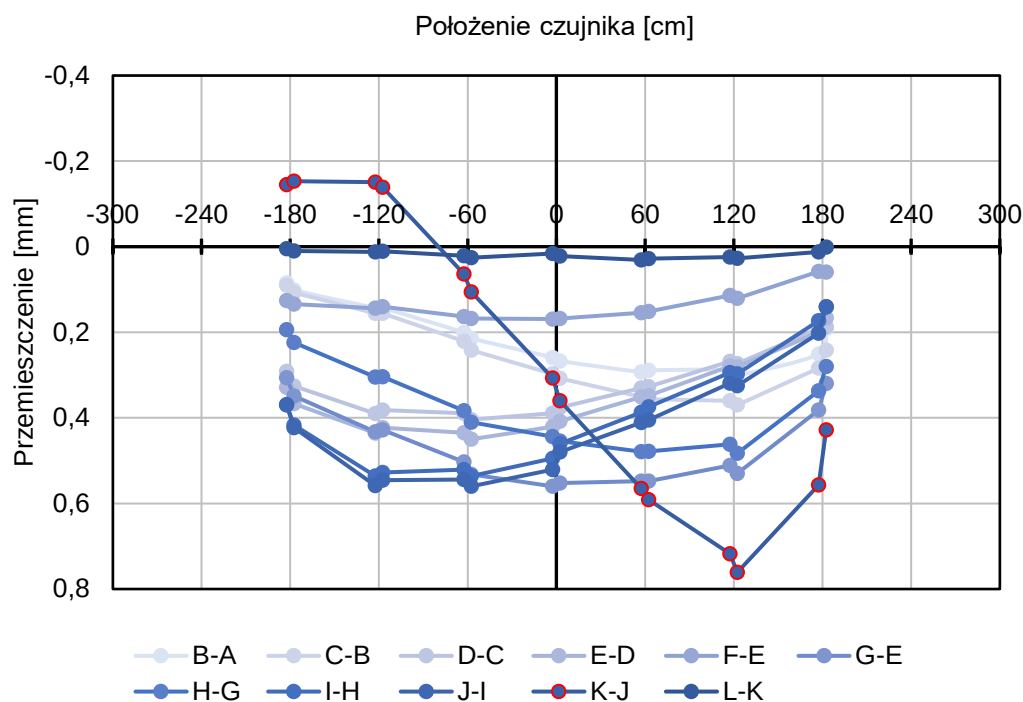
- Przy obciążeniach doraźnych nie wystąpiło klawiszowanie na stykach płyt, nawet przy prawie dwukrotnym zwiększeniu obciążenia sąsiednich prefabrykowanych płyt stropu. Maksymalne różnice pomiędzy sąsiednimi czujnikami nie przekroczyły 0,5 mm. Przesunięcia takie nie są przyczyną powstawania rys na wykończeniowych elementach stropów lub uszkodzeń zabudowanych instalacji. Dodatkowo należy mieć na uwadze, że różnica odczytów pomiędzy czujnikami wynika po części jednak z ich oddalenia od siebie wynoszącego do 50mm.
- Przy obciążeniu doraźnym $4,7 \text{ kN/m}^2$ przemieszczenie środka stropu wynosiło 3,895 mm (Rys. 78), co odpowiada ugięciu względnemu rzędu $1/1540$ rozpiętości L (przy dopuszczalnym $1/300 L$).
- Charakter przemieszczeń stropu w dwóch prostopadłych kierunkach świadczy o dwukierunkowej pracy stropu, pomimo braku zbrojenia styków paneli. Ze względu na brak widocznych rys można stwierdzić, że strop pod obciążeniem doraźnym pracował w stanie niezarysowanym.
- Obserwacja dolnej powierzchni wykazała, że pod wpływem obciążenia równego lub przekraczającego obliczeniowe wartości projektowe, nie doszło do pojawienia się zarysowań.
- Z porównania wyników obliczeń numerycznych i wyników badań in-situ wynika akceptowalna zgodność, co potwierdza przyjętą tezę, że strop pracował w fazie niezarysowanej.
- Na podstawie analizy wykresu przemieszczeń modeli MB i MN przy schemacie obciążenia K, można stwierdzić, że założenie o przegubowym połączeniu paneli na styku (przenoszenie wyłącznie sił ścinających) pozwala na uzyskanie akceptowalnych wyników. Taki model w mniejszym stopniu uwzględnia przekazywanie obciążeń na

sąsiednie panele niwelując częściowo dwukierunkową pracę stropu zaobserwowaną w badaniach. Daje to podstawy, aby stwierdzić, że nowatorski kształt zamka pomiędzy płytami, połączony z zespalającą warstwą nadbetonu pozwala na bezpieczne przeproszczenie sił poprzecznych pomiędzy panelami,

- Możliwość uwzględnienia pełnej współpracy paneli w ramach całej konstrukcji stropu (nie tylko w przenoszeniu lokalnych sił skupionych) wymaga jednak dalszych badań, w szczególności pod wpływem obciążeń zmiennych długotrwałych (zmęczenie materiału), jest to związane z możliwością pojawienia się rozwijających się w czasie zarysowań na długości styku.
- Maksymalna przyłożona siła na model pasmowy dla której wykonano odczyt wynosiła $10,9 \text{ kN/m}^2$, a wartość przemieszczenia sięgnęła 213 mm. Kolejny krok o wartości 12 kN/m^2 , spowodował oparcie się pasma na posadzce przy całkowitym przemieszczeniu o wartości 257 mm. Przy tak obciążonym modelu nie zanotowano widocznych oznak rozwarstwienia nadbetonu od prefabrykatu.



Rys. 78. Przemieszczenie w osi otworów dla każdego z schematów obciążenia



Rys. 79. Zmiana przemieszczenia w osi otworów pomiędzy kolejnymi schematami obciążenia (w stosunku do schematu poprzedniego)

7 Podsumowanie

Reasumując stwierdzić należy, że badany model wykonany z elementów panelowych TerivaPanel nie wykazał żadnych niepokojących objawów świadczących o przeciążeniu nawet przy obciążeniach większych od projektowanych. W wykonanych badaniach pod obciążeniami doraźnymi, uzyskano znaczne zapasy bezpieczeństwa w zakresie ugięć wynikających z formalnych warunków stanu granicznego użytkowości. Na tym etapie badań konstrukcje stropów TerivaPanel uznać należy za bezpieczne, spełniające wymagania aktualnych norm projektowania.

8 Bibliografia

- [1] PN-EN 1992-1-1:2008/NA:2018-11. Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [2] PN-EN 1990:2004/NA:2010. Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji.
- [3] Lorkowski Jan: Dokumentacja techniczna stropu TERIVA PANEL. KONBET POZNAŃ, Poznań, czerwiec 2019
- [4] Starosolski Włodzimierz: Praca poprzeczna stropów zespolonych typu 2K i innych. XVI Konferencja Naukowo-Techniczna „Jadwisin 98” – Beton i prefabrykacja, Serock 20-23 kwietnia 1998, t. 2, s. 235-242.
- [5] Starosolski Włodzimierz: Konstrukcje żelbetowe według Eurokodu 2 i norm związanych Tom 2, s. 41-48. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa, 2019
- [6] Jong-Young Song, Kim S, Elliott, Ho Lee and Hyo-Gyoung Kwak: Load Distribution Factors for Hollow Core Slabs with In-situ Reinforced Concrete Joints. International Journal of Concrete Structures and Materials Vol.3, No.1, pp. 63~69, June 2009
- [7] Kisiołek A.: Rynek systemów stropowych w Polsce. Analiza wybranych rozwiązań na przestrzeni lat 2015–2016, Wydanie drugie, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Społeczno-Ekonomicznej w Środzie Wlkp., Środa Wlkp. – Poznań 2018.

**dr inż. Artur Kisiołek**

Menedżer i naukowiec - doktor nauk ekonomicznych, wykładowca akademicki. Od ponad 10 lat związany z branżą budowlaną, w roku 2012 objął funkcję prezesa zarządu firmy Konbet Poznań Sp. z o.o. oraz równoległe od roku 2013 jest prezesem zarządu firmy Fabryka Stropów Sp. z o.o. Łączy zainteresowania naukowe z zawodowymi, zajmuje się m.in. kwestiami marketingu na rynku B2B. Nadał osobowość produktom prefabrykacji betonowej kreując takie marki systemów stropowych jak SMART oraz VECTOR. W 2017 r. wydał monografię pt. „Polski rynek systemów stropowych”, pierwszą w Polsce analizę rynku tego rodzaju produktów. Jest twórcą platformy internetowej Stropy.pl umożliwiającej uzyskanie kompleksowych informacji na temat systemów stropowych, ich porównanie, wycenę i zamówienie, u kilkunastu producentów stropów na terenie całego kraju.

**dr hab. inż. Łukasz Drobiec, prof. PŚ**

Absolwent (1997) Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach, specjalności Konstrukcje Budowlane i Inżynierskie. W roku 2004 obronił z wyróżnieniem pracę doktorską nt. „Analiza murów z cegły pełnej ze zbrojeniem w spoinach wspornych poddanych obciążeniom pionowym”, za którą uzyskał wyróżnienie Ministra Infrastruktury. W 2014 r. uzyskał stopień doktora habilitowanego z wyróżnieniem. Od roku 2004 jest zatrudniony w Katedrze Konstrukcji Budowlanych Politechniki Śląskiej, obecnie na stanowisku profesora nadzwyczajnego. Prace naukowe obejmują laboratoryjne badania doświadczalne modeli elementów murowych i żelbetowych, często w skali naturalnej, poddanych złożonemu stanowi obciążenia oraz zaawansowane analizy numeryczne konstrukcji. Autor i współautor ponad 300 publikacji, w tym 17 książek i monografii. Rzecznik budowlany o specjalności konstrukcje budowlane do kierowania robotami budowlanymi i projektowania w nieograniczonym zakresie. W ramach działalności inżynierskiej brał udział w sporządzaniu ponad 600 ekspertyz, 200 opinii i 300 projektów.

Członek i sekretarz Sekcji Konstrukcji Betonowych KILiW PAN, członek Komitetu Nauki PZITB, gliwickiego oddziału PZITB, International Masonry Society, i Śląskiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa. Działa w KT 233 i jest przewodniczącym KT 252 Polskiego Komitetu Normalizacyjnego.

**dr hab. inż. Radosław Jasiński, prof. PŚ**

Absolwent (1997) kierunku Konstrukcje Budowlane i Inżynierskie i specjalności Mosty na Wydziale Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Od 1998 r. zatrudniony w Katedrze Konstrukcji Budowlanych macierzystej uczelni, początkowo na stanowisku asystenta następnie adiunkta i profesora nadzwyczajnego. Praca doktorska (2005) z zakresu ścinania ścian murowych (Nagroda Ministra Budownictwa i Infrastruktury), praca habilitacyjna (2017) poświęcona murowym ścianom usztywniającym. Autor lub współautorem ponad 200 publikacji – monografii, podręczników, artykułów w krajowej i zagranicznej prasie technicznej, zeszytach naukowych i referatów na konferencjach krajowych i zagranicznych z zakresu konstrukcji żelbetowych, murowych oraz diagnostyki konstrukcji. Współautor wielu opracowań o charakterze ekspertyzowym i projektów obiektów kubaturowych. Od roku 2002 jest członkiem stałego Komitetu Organizacyjnego Ogólnopolskich Warsztatów Pracy Projektanta Konstrukcji (WPPK).

**dr inż. Wojciech Mazur**

Absolwent (2010) Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach, specjalności Konstrukcje Budowlane i Inżynierskie. W roku 2018 obronił z wyróżnieniem pracę doktorską nt. „Analiza nośności i odkształcalności wybranych systemowych nadproży z betonu komórkowego”. Od roku 2017 jest zatrudniony w Katedrze Konstrukcji Budowlanych Politechniki Śląskiej, obecnie na stanowisku asystenta. Prace naukowe obejmują laboratoryjne badania doświadczalne modeli elementów murowych z zastosowaniem bezdotykowego systemu pomiaru przemieszczeń opartego na cyfrowej korelacji obrazów. Autor lub współautorem ponad 30 publikacji – zeszytów technicznych, artykułów w krajowej prasie technicznej, referatów na konferencjach krajowych i zagranicznych z zakresu konstrukcji murowych. Posiada uprawnienia budowlane do projektowania i kierowania robotami budowlanymi w specjalności konstrukcyjno-budowlanej bez ograniczeń. Współautor wielu ekspertyz, opinii i projektów obiektów budowlanych.

**mgr inż. Jakub Zajac**

Absolwent (2019) Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach, specjalności Konstrukcje Budowlane i Inżynierskie. W roku 2019 obronił pracę magisterską nt. „Analiza porównawcza pracy płyt stropowych Vector II oraz Vector III”, za którą otrzymał wyróżnienie w konkursie SPB w kategorii prefabrykacji betonowej oraz został laureatem konkursu PEKABEX w kategorii prac badawczych. Od roku 2019 do chwili obecnej jest uczestnikiem Wspólnej Szkoły Doktorskiej otwartej w ramach Politechniki Śląskiej. Autorem lub współautorem publikacji – zeszytu technicznego, artykułu w krajowej prasie technicznej oraz referatu na konferencji krajowej z zakresu konstrukcji żelbetowych. Współautor ekspertyz, opinii i projektów obiektów budowlanych.