

INFORMATOR
BADAWCZY

STROPY.PL

BADANIE DOŚWIADCZALNE STROPÓW VECTOR 2 i VECTOR 3 – obciążenia doraźne

Artur KISIOŁEK

Łukasz DROBIEC

Radostaw JASIŃSKI

Mirostlaw WIECZOREK

STROP ZESPOLONY GĘSTOŻEBROWY
VECTOR®
Wyznacza nowy kierunek!



STROPY.PL

WYBIERZ NAJLEPSZY STROP DLA SIEBIE!

NOWA GENERACJA STROPÓW GĘSTOŻEBROWYCH
BEZPUSTAKOWE STROPY VECTOR®

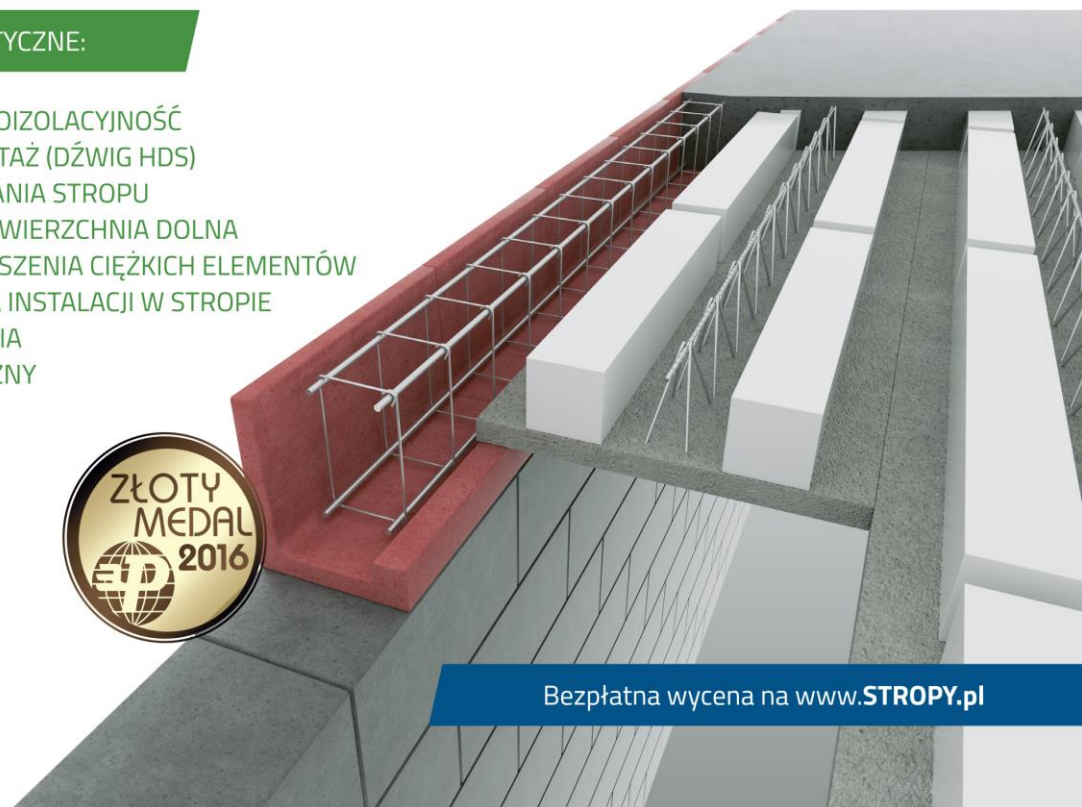
VECTOR®

CECHY CHARAKTERYSTYCZNE:

- DOSKONAŁA DŹWIĘKOIZOLACYJNOŚĆ
- SZYBKI I ŁATWY MONTAŻ (DŹWIG HDS)
- NISKI KOSZT WYKONANIA STROPU
- IDEALNIE GŁADKA POWIERZCHNIA DOLNA
- MOŻLIWOŚĆ PODWIESZENIA CIĘŻKICH ELEMENTÓW
- MOŻLIWOŚĆ UKRYCIA INSTALACJI W STROPIE
- BRAK KLAWISZOWANIA
- ZDROWY I EKOLOGICZNY



Bezpłatna wycena na www.STROPY.pl



Spis treści

1	Wprowadzenie	1
1.1	Informacja o grupie STROPY.pl	1
	Podsumowanie roku 2018	3
1.2	Plany na rok 2019	3
2	Cel badań eksperymentalnych	4
3	Opis badań	7
3.1	Modele do badań.....	7
3.1.1	Model 1.....	7
3.1.2	Model 2.....	10
4	Metodologia badań	14
4.1	Wyniki badań.....	17
4.1.1	Przemieszczenia od obciążeń doraźnych.....	17
4.1.2	Zarysowania.....	31
4.2	Analiza wyników	34
4.2.1	Klawiszowanie stropów.....	34
4.2.2	Obliczenia numeryczne	46
4.3	Wnioski z badań.....	58
5	Podsumowanie.....	60
6	Bibliografia.....	60

1 Wprowadzenie

1.1 Informacja o grupie STROPY.pl

Grupa STROPY.pl zrzesza liczących się w Polsce producentów prefabrykatów betonowych. Posiadamy 30-letnie doświadczenie w produkcji stropów, kształtek i nadproży. Jesteśmy właścicielem licznych patentów i wzorów użytkowych oraz liderem w zakresie innowacyjnych rozwiązań stropowych. Dostarczamy nowoczesne prefabrykaty na inwestycje na terenie całej Polski i Europy.



Nasza oferta obejmuje:

- **Płyty Stropowe Strunobetonowe SPK**

Zalecane do dużych inwestycji przemysłowych. Maksymalna rozpiętość do 26m (płyta grubości 50cm).

- **Lekki strop panelowy SMART**

SMART jest idealnym rozwiązaniem do budownictwa jednorodzinnego. Najlepszy strop na rynku. Nie wymaga stemplowania i nadbetonu, Szybki montaż – 100m stropu w 2 godziny. Maksymalna rozpiętość płyt do 10,5m (płyta o grubości 20cm).

- **Strop Zespolony Gęstożebrowy VECTOR**

VECTOR to idealna alternatywa dla Terivy, Filigranu i monolitu. Zalecany do budownictwa jedno i wielorodzinnego. Maksymalna rozpiętość do 7,6m przy wysokości konstrukcyjnej stropu 24cm.

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

MASTER jest alternatywą dla Terivy. Dzięki zastosowaniu belki sprężonej maksymalna rozpiętość stropu do 9,3m.

- **Stropy Teriva**

Stropy Teriva dla budownictwa jedno i wielorodzinnego.

- **Teriva Termo**

Stropy Teriva o doskonałych właściwościach termoizolacyjnych, dzięki zastosowaniu pustaków z keramzytu oraz pustaków styropianowych,

- **Nadproża strunobetonowe SBN**

Nadproża strunobetonowe sprężone o doskonałej nośności i rozpiętości.

- **Kształtki wieńcowe**

Kształtki wieńcowe (pustaki szalunkowe) są pierwszym w Polsce kompletnym system elementó 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).

Podsumowanie roku 2018

Podsumowując rok 2018 należy przyznać, że był on dla nas bardzo pracowity. Wśród najważniejszych wydarzeń można wymienić przyznanie przez Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa w Poznaniu pozytywnych rekomendacji dwóm stropom stworzonych przez Fabrykę Stropów oraz KONBET Poznań, wchodzącym w skład grupy STROPY.pl – stropu SMART oraz VECTOR. Stropy te były wielokrotnie nagradzane, otrzymały rekomendacje techniczne od doświadczonych specjalistów z branży budowlanej. Rekomendacje te potwierdzają wiarygodność techniczno-użytkową stropów, ich należytego procesu produkcji oraz realizacji zamówień z punktu widzenia rzetelności i jakości usług. Wśród zalet opisanych w przeglądzie technicznym dla rekomendacji znajdują się takie cechy stropu SMART jak energooszczędność, ekologiczność, redukcja kosztów inwestycyjnych, poprawa termoizolacyjności, szybkość montażu, niska masa własna, modułowość. W stosunku do stropu VECTOR wymieniono: niski ciężar, szybki montaż, wyjątkową dźwiękoizolacyjność, dowolność w rozmieszczaniu ścianek działowych, brak klawiszowania, łatwość wykonywania otworów. Oba stropy zyskały już uznanie w branży i zostały wielokrotnie nagrodzone. Wśród wyróżnień znajdują się takie prestiżowe nagrody jak Top Builder czy Złoty Medal MTP.

W roku 2018 podjęliśmy decyzję o współpracy partnerskiej z Katedrą Konstrukcji Budowlanych Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej. W zakresie wzajemnej współpracy przeprowadzono polowe badania stropu Vector II oraz Vector III, które zostaną opisane w dalszej części Informatora. W dalszej części roku współpraca ta została rozszerzona o badania sprężonych nadproży.

1.2 Plany na rok 2019

W roku 2019 zamierzamy zakończyć badania stropu Vector II oraz Vector III pod obciążeniem długotrwałym, a także przeprowadzić ich badania niszczące. Dynamiczny rozwój sieci producentów STROPY.pl oraz nowe, innowacyjne systemy stropowe.

2 Cel badań eksperymentalnych

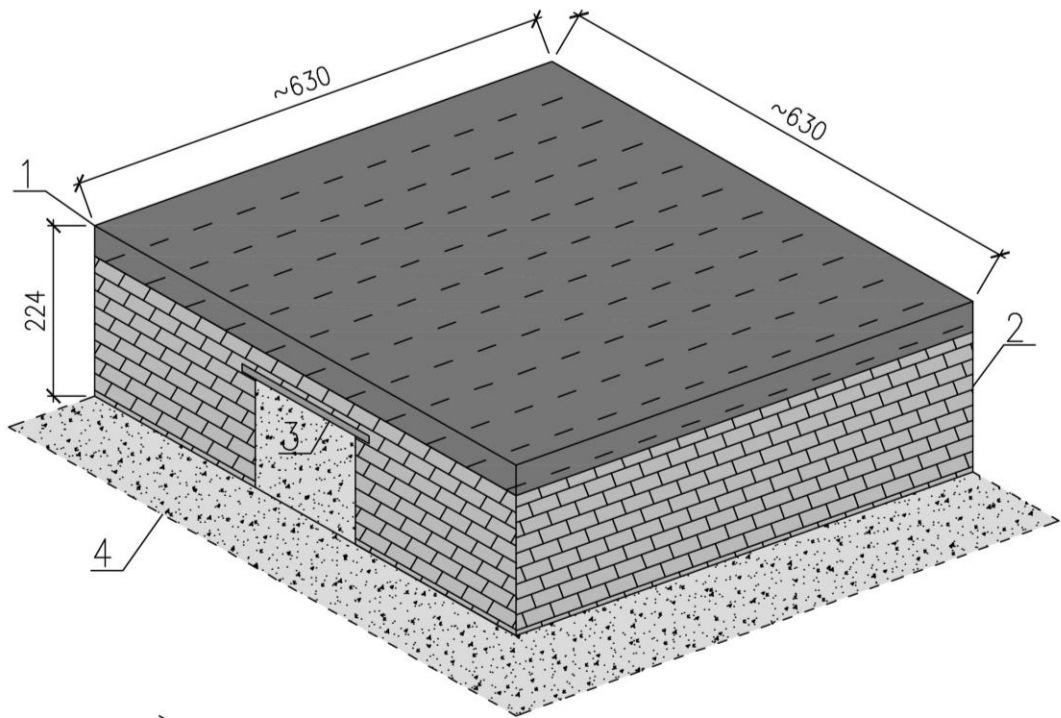
Celem prowadzonych badań było doświadczalne określenie zachowania się stropów Vector II oraz Vector III podczas próby doraźnego obciążania ze szczególnym uwzględnieniem:

- pionowych przemieszczeń dolnej powierzchni badanych stropów,
- morfologii powstających na dolnej powierzchni stropów zarysowań,
- wzajemnych przemieszczeń płyt stropowych – klawiszowania,
- deformacji zastosowanych nad otworami wejściowymi strunobetonowych nadproży.

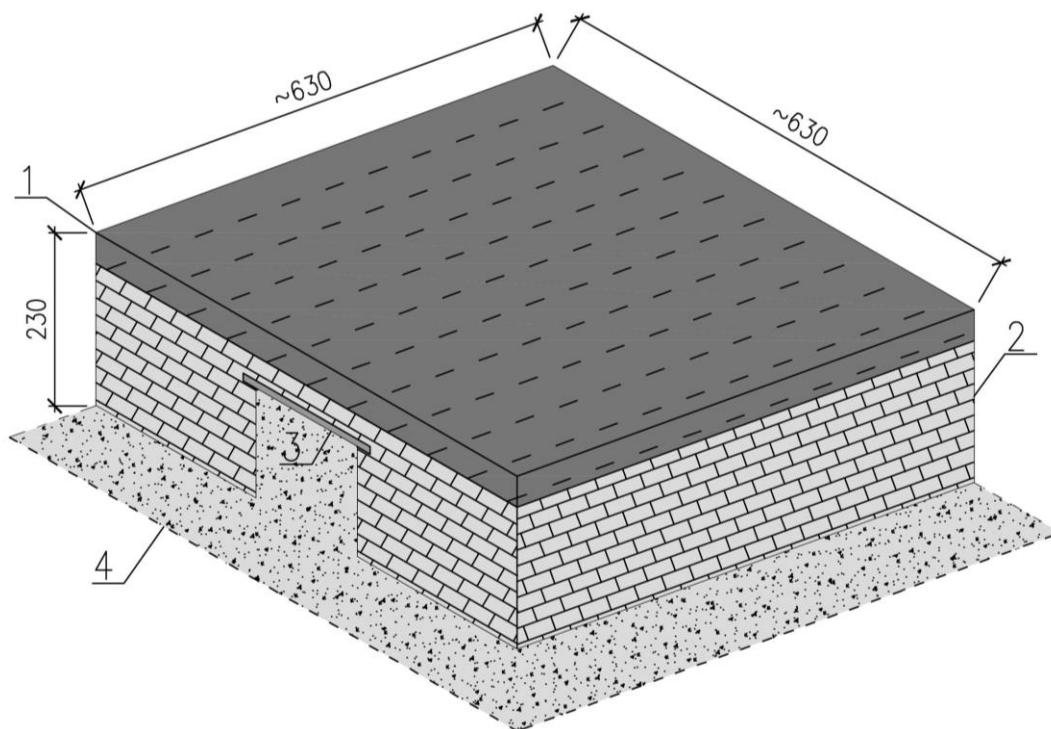
Badania przeprowadzono na dwóch modelach:

- pełnowymiarowy strop Vector II (model badawczy wykonany w postaci przestrzennej konstrukcji stropu opartego na ścianach z bloczków betonowych o szerokości 24,0 cm) o podstawowych wymiarach $\sim 6,30 \times 6,30 \times 2,24$ m (rys. 1). W dalszej części przyjęto nazwę Model 1;
- pełnowymiarowy strop Vector III (model badawczy wykonany w postaci przestrzennej konstrukcji stropu opartego na ścianach z bloczków z betonu komórkowego) o podstawowych wymiarach $\sim 6,30 \times 6,30 \times 2,30$ m (rys. 2). W dalszej części przyjęto nazwę Model 2.

Modele badawcze wykonano na terenie Fabryki Stropów KONBET w Konarzycach w maju 2018 r.



Rys. 1. Widok Modelu 1 (1- strop Vector II 20/60 4,81, 2- ściana z bloczków betonowych, 3- sprężone nadproże betonowe 2 x SBN 7,2/12/180, 4- prefabrykowana podbudowa betonowa)



Rys. 2. Widok Modelu 2 (1- strop Vector 3, 2- ściana z bloczków betonu komórkowego, 3- sprężone nadproże betonowe 2 x SBN 7,2/12/180 , 4- prefabrykowana podbudowa betonowa)

3 Opis badań

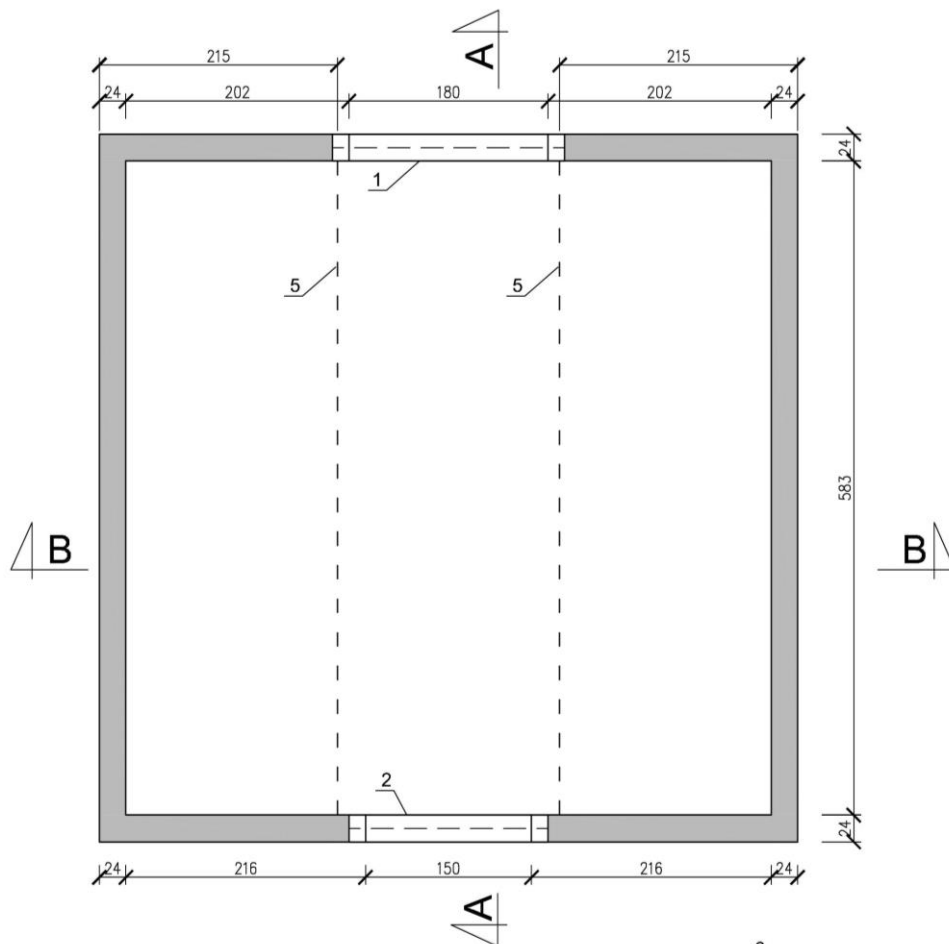
3.1 Modele do badań

3.1.1 Model 1

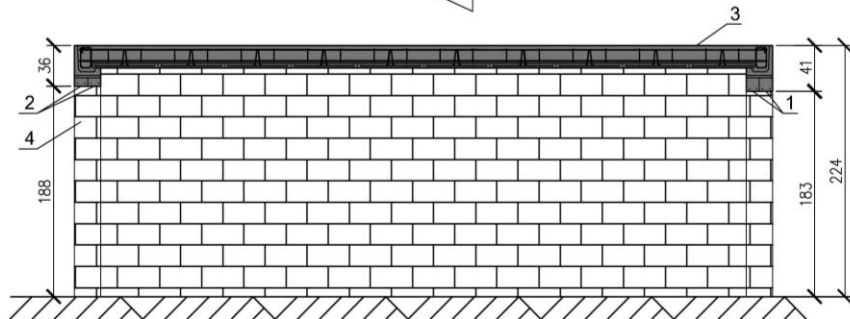
Model 1 wykonany został w dniach 8.05÷24.05.2018 r. jako pełnowymiarowy jednokondygnacyjny obiekt ze ścianami murowanymi z bloczków betonowych o grubości 24,0 cm na zaprawie cementowej i stropem Vector II 20/60 4,81. Strop zaprojektowany został według PN-EN 1992-1-1 [1] na obciążenie ponad ciężar własny równe $2,52 \text{ kN/m}^2 + 2,0 \text{ kN/m}^2$ (obciążenie stałe + obciążenie użytkowe) dla kategorii A użytkowania stropu oraz $2,22 \text{ kN/m}^2 + 3,0 \text{ kN/m}^2$ (obciążenie stałe + obciążenie użytkowe) dla kategorii B użytkowania stropu. W projektowaniu przyjęto kombinacje oddziaływań STR/GEO (wzór 6.10) oraz kombinację quasi-stałą wg PN-EN 1990 [2]. Dokładny opis konstrukcji stropu Vector II oraz metod obliczeniowych można znaleźć w monografii [3].

Wymiary modelu wyniosły $\sim 6,30 \times 6,30 \times 2,24 \text{ m}$ (rys. 3). Obiekt wykonano na żelbetowej płycie zewnętrznego magazynu pomiędzy dylatacjami konstrukcyjnymi. Strop Vector II miał całkowitą grubość łącznie z nadbetonem równą 215 mm. Pole przekroju zbrojenia w postaci stalowych prętów zastosowanego w prefabrykowanej płycie stropu wynosiło $4,81 \text{ cm}^2$. Szczegóły zbrojenia strefy podporowej oraz żebra rozdzielczego zamieszczono na rys. 7. Strop został podparty na specjalnych prefabrykowanych kształtkach wieńcowych, w których wykształcono obwodowe zbrojenie. Nad dwoma otworami drzwiowymi umieszczono systemowe nadproża sprężone KONBET. W ścianach prostopadłych do ścian, na których oparto płyty stropowe wykształcono otwory drzwiowe z nadprożami. Od strony hali umieszczono dwa nadproża SBN 7,2/12/180, natomiast po przeciwnej stronie zabudowano 2 nadproża SBN 12/12/210. Widok stropu przed i po zabetonowaniu zamieszczono na rys. 4.

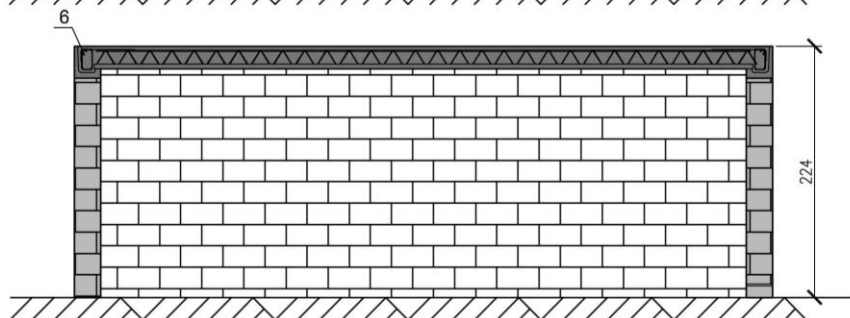
a)



b)



c)



Rys. 3. Wymiary geometryczne Model 1: a) przekrój poziomy, przekrój A-A, c) przekrój B-B (1- nadproże sprężone 2×SBN 12/12/210, 2- 2×SBN 7,2/12/180, 3- strop Vector II 20/60, 4- ściana z bloczków betonowych, 5- usytuowanie żeber rozdzielczych – szczegół według rys. 7, 6- zbrojenie strefy podporowej – szczegół według rys. 7)



Rys. 4. Widok Modelu 1 przed i po betonowaniu

3.1.2 Model 2

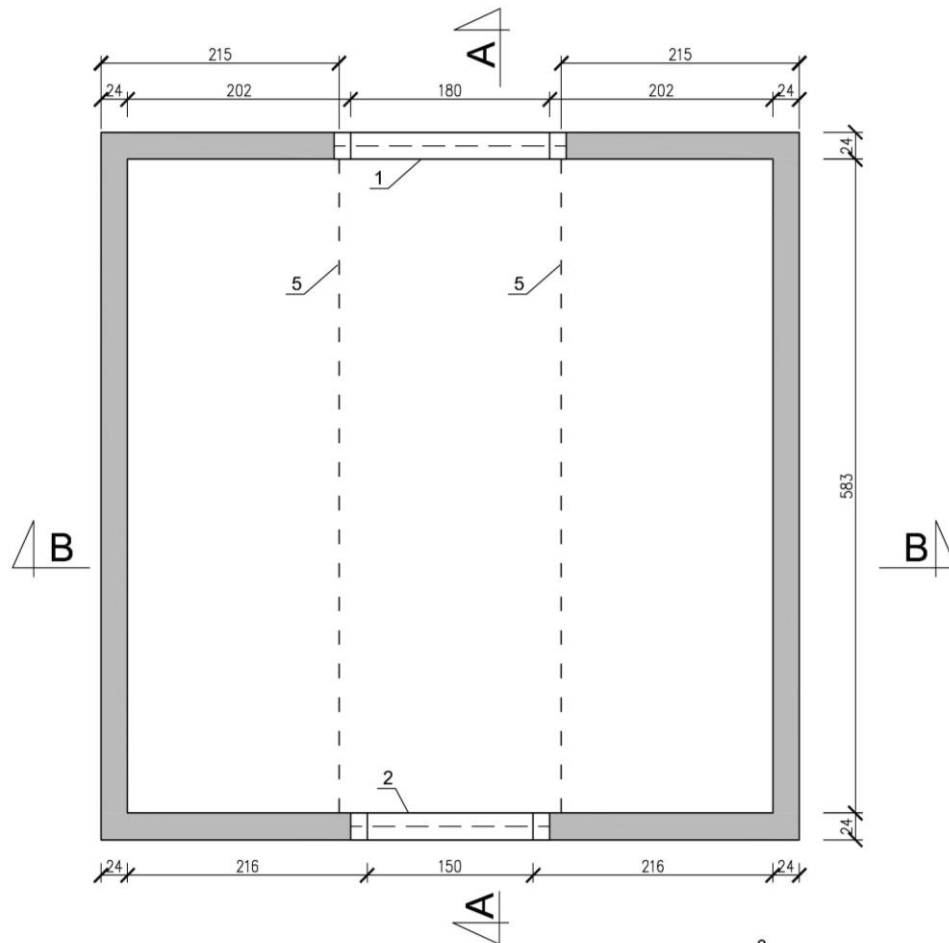
Model 2 został, podobnie jak Model 1, wykonany został w dniach 15.05÷24.05.2018 r. jako pełnowymiarowy jednokondygnacyjny obiekt ze ścianami z bloczków z autoklawizowanego betonu komórkowego SOLBET OPTIMAL o grubości 24,0 cm i stropem Vector III 20/60 4,52.

Strop zaprojektowany został według PN-EN 1992-1-1 na obciążenie ponad ciężar własny równe $0,09 \text{ kN/m}^2 + 2,0 \text{ kN/m}^2$ (obciążenie stałe + obciążenie użytkowe) dla kategorii A użytkowania stropu. W projektowaniu przyjęto kombinacje oddziaływań STR/GEO (wzór 6.10) oraz kombinację quasi-stałą wg PN-EN 1990.

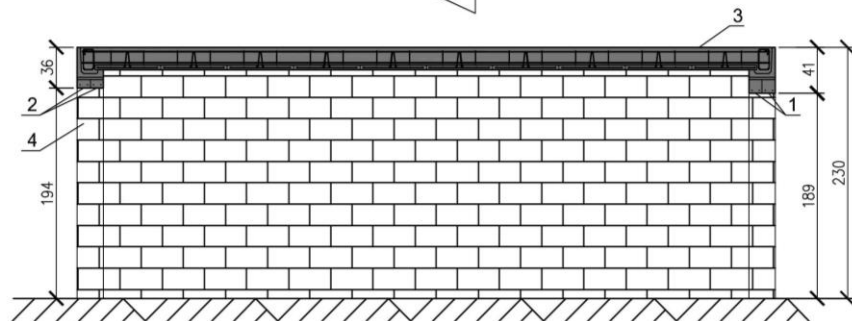
Wymiary modelu wyniosły $\sim 6,30 \times 6,30 \times 2,30$ m (rys. 5). Obiekt wykonano na żelbetowej płycie zewnętrznego magazynu pomiędzy dylatacjami konstrukcyjnymi. Strop Vector III miał całkowitą grubości mierząc z nadbetonem równą 206 mm. Pole przekroju zbrojenia wykonanego ze stalowych prętów zastosowanego w prefabrykowanej płycie stropu wynosiło $4,79 \text{ cm}^2$. Szczegóły zbrojenia strefy podporowej oraz żebra rozdzielczego zamieszczono na Rys. 7. Strop został podparty na specjalnych prefabrykowanych kształtkach wieńcowych, w których umieszczono obwodowe zbrojenie.

W ścianach prostopadłych do ścian, na których oparto płyty stropowe wykształcono otwory drzwiowe z nadprożami. Nad dwoma otworami drzwiowymi umieszczono systemowe nadproża sprężone KONBET. Od strony hali umieszczono dwa nadproża SBN 7,2/12/180, natomiast w ścianie po stronie przeciwnej zastosowano 2 nadproża SBN 12/12/210. Widok modelu przed i po zabetonowaniu zamieszczono na rys. 6.

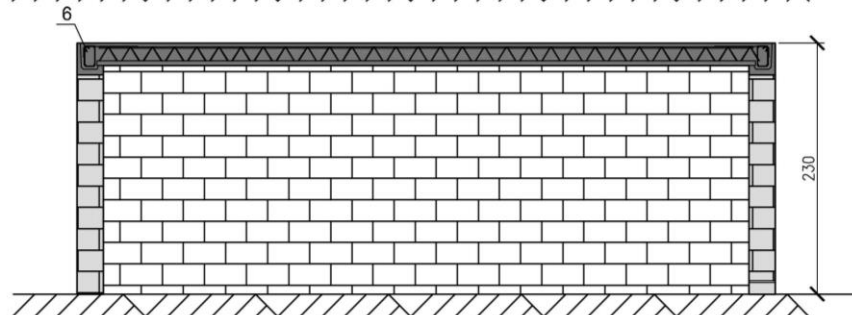
a)



b)



c)

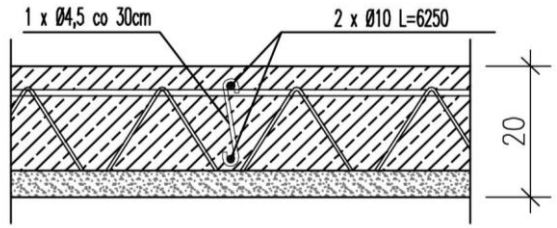


Rys. 5. Wymiary geometryczne Model 2: a) przekrój poziomy, przekrój A-A, c) przekrój B-B (1- nadproże sprężone 2×SBN 12/12/210, 2- 2×SBN 7,2/12/180, 3- strop Vector III 20/60, 4- ściana z bloczków z betonu komórkowego, 5- usytuowanie żeber rozdzielczych – szczegół według rys. 7, 6- zbrojenie strefy podporowej – szczegół według rys. 7

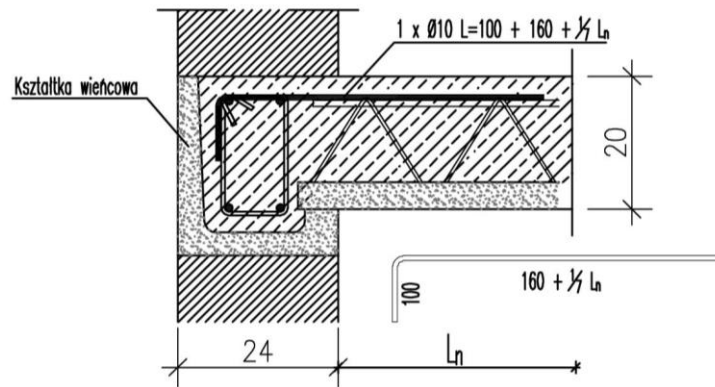


Rys. 6. Widok Modelu 2 przed i po betonowaniu

a)



b)



Rys. 7. Szczegół zbrojenia strefy podporowej oraz żebra rozdzielczego – Model 1 i Model 2

4 Metodologia badań

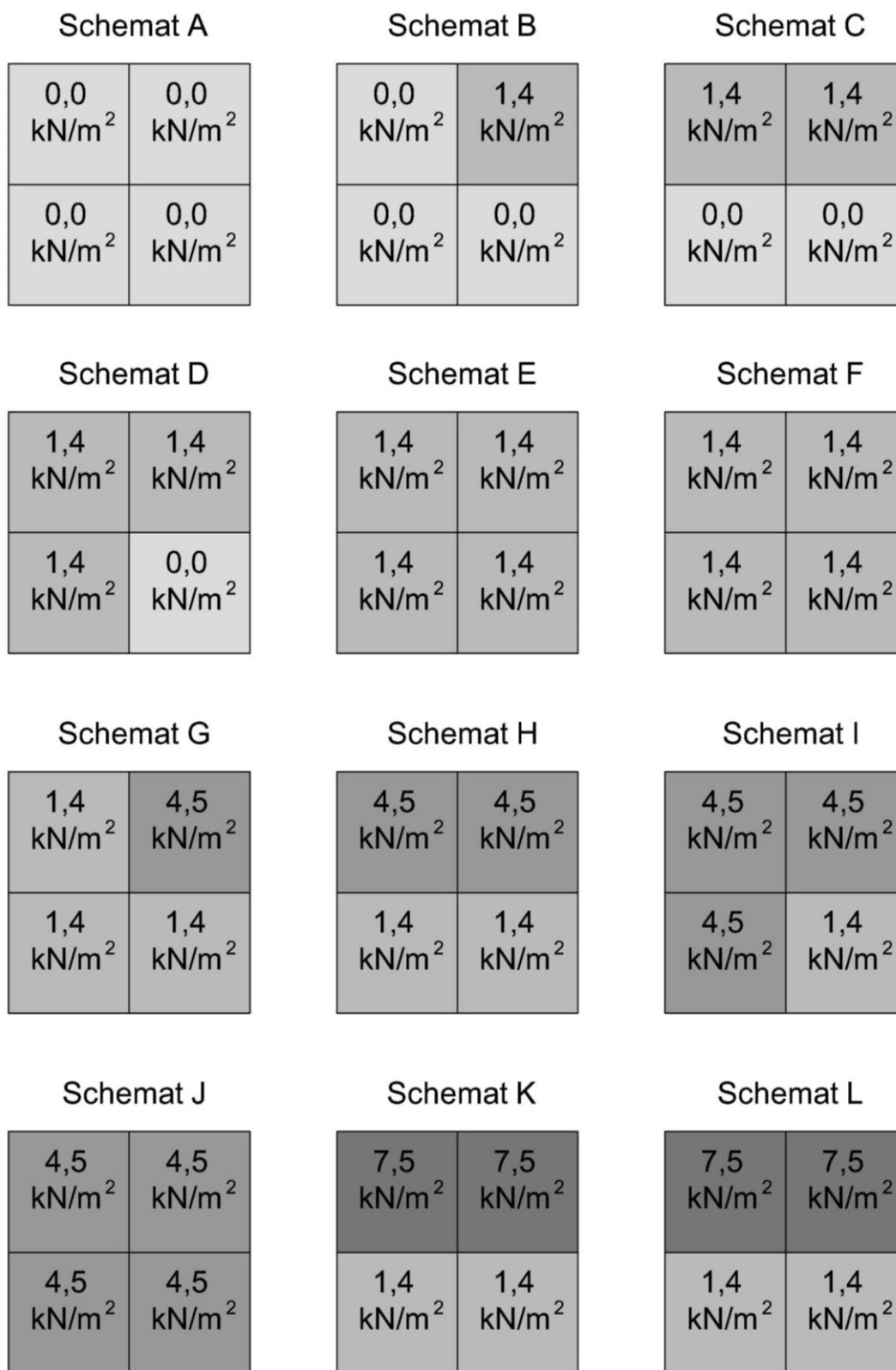
Badania Modelu 1 i Modelu 2 przeprowadzono w dniach 25 i 26.06.2018 r., przebiegały w identyczny sposób. Kolejność prowadzonych prac była następująca:

- inwentaryzacja modeli badawczych. W czasie tej czynności dokonano pomiaru głównych wymiarów geometrycznych modeli badawczych i porównywano z przekazaną dokumentacją. Dokonano również pomiarów grubości badanych stropów przez wykonane odwierty oraz sporządzono dokumentację fotograficzną.
- rozłożenie aparatury pomiarowej, która polegała na podwieszeniu do dolnych powierzchni stropów reperów pomiarowych, służących do pomiaru geodezyjnego oraz ustawienia ramek, na których umieszczono następnie elektroniczne czujniki indukcyjne LVDT (do pomiaru elektronicznego) o bardzo dużej dokładności. 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 $4,5 \text{ kN/m}^2$ zostało podzielone na dwie części:
 - $1,4 \text{ kN/m}^2$ (założona wartość obciążenia stałego)
 - $3,1 \text{ kN/m}^2$ (założona wartość obciążenia zmiennego).

Obciążenie grawitacyjne było przykładane do każdego z modeli w identyczny sposób przez dokładanie odpowiedniej liczby bloczków betonowych umieszczonych bezpośrednio na modelach lub paletach. Szczegółowy schemat zmian obciążeń modeli zamieszczono na (rys. 8):

- usunięcie z górnej powierzchni badanych modeli wszystkich elementów niekonstrukcyjnych – Schemat A (rys. 8);
- ułożenie warstwy bloczków betonowych (zastępcze obciążenie stałe) na $\frac{1}{4}$ modelu – Schemat B (rys. 8);
- ułożenie warstwy bloczków betonowych (zastępcze obciążenie stałe) na $\frac{1}{2}$ modelu – Schemat C (rys. 8);

- ułożenie warstwy bloczków betonowych (zastępcze obciążenie stałe) na $\frac{3}{4}$ modelu – Schemat D (rys. 8);
 - ułożenie warstwy bloczków betonowych (zastępcze obciążenie stałe) na całości modelu – Schemat E (rys. 8);
 - utrzymanie obciążenia według Schematu E przez jedną godzinę (zastępcze obciążenie stałe) na całości modelu – Schemat F (rys. 8);
 - ułożenie warstwy palet z bloczkami betonowymi (zastępcze obciążenie zmienne) na $\frac{1}{4}$ modelu – Schemat G (rys. 8);
 - ułożenie warstwy palet z bloczkami betonowymi (zastępcze obciążenie zmienne) na $\frac{1}{2}$ modelu – Schemat H (rys. 8);
 - ułożenie warstwy palet z bloczkami betonowymi (zastępcze obciążenie zmienne) na $\frac{3}{4}$ modelu – Schemat I (rys. 8);
 - ułożenie warstwy palet z bloczkami betonowymi (zastępcze obciążenie zmienne) na całości modelu – Schemat J (rys. 8);
 - zwiększenie wartości obciążenie na połowie modelu z równoczesnym odciążeniem drugiej połowy – Schemat K (rys. 8);
 - utrzymanie obciążenia według Schematu K przez jedną godzinę (zastępcze obciążenie stałe) na całości modelu – Schemat L (rys. 8).
- odczyt mierzonych wielkości. W zakresie mierzonych wielkości przeprowadzono odczyt geodezyjny oraz elektroniczny 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 przykładanych mierników. Zaobserwowane uszkodzenia opisano w dalszej części opracowania.

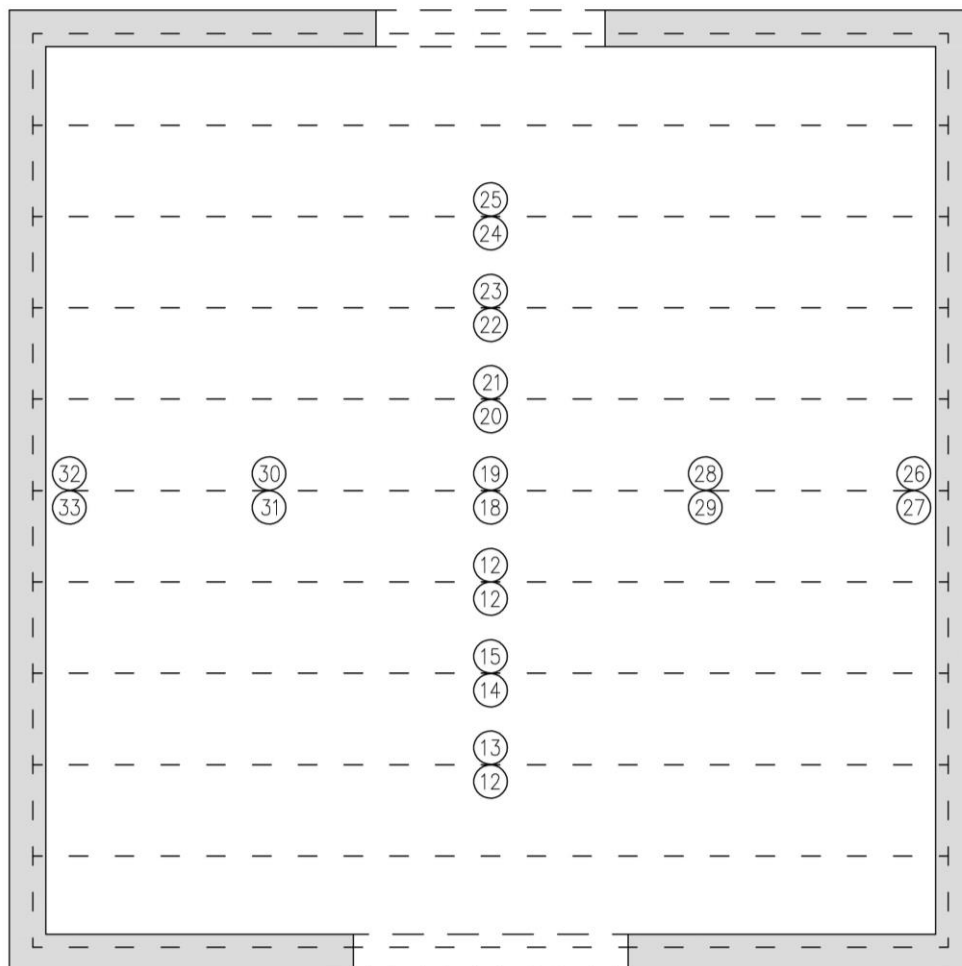


Rys. 8. Zmiana wartości obciążenia równomiernie rozłożonego – Model 1 i Model 2

4.1 Wyniki badań

4.1.1 Przemieszczenia od obciążeń doraźnych

Przemieszczenia doraźne (obciążenia przyłożone w pierwszym dniu badawczym) były rejestrowane za pomocą indukcyjnych przetworników przemieszczeń typu PJX-10 i PJX-20 o dokładności wskazań równej 0,002 mm. Czujniki mocowano do stalowego stelaża opartego na żelbetowej płycie magazynu. Na rys. 9 zamieszczono rozmieszczenie czujników wzdłuż osi otworów drzwiowych oraz wzdłuż styku płyt środkowych (ułożenie czujników było identyczne dla Modelu 1 i Modelu 2), natomiast na rys. 10 zamieszczono widok stalowego stelaża z zamontowanymi przetwornikami przemieszczeń. Na rys. 11 ÷ rys. 20 zamieszczono wyniki pomiarów Modelu 1 oraz Modelu 2 w zależności od schematu obciążenia (opis schematów obciążenia zamieszczono w poprzednim podrozdziale).



Rys. 9. Rozmieszczenie czujników indukcyjnych do pomiarów przemieszczeń pionowych na dolnych powierzchniach badanych stropów (Model 1 i Model 2)

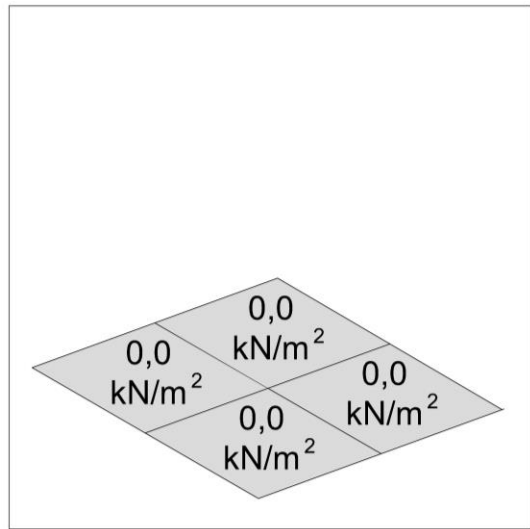


Rys. 10. Montaż czujników indukcyjnych do pomiarów przemieszczeń pionowych (Model 1 i Model 2)

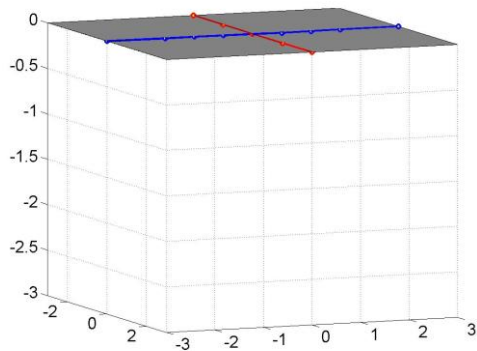
a)



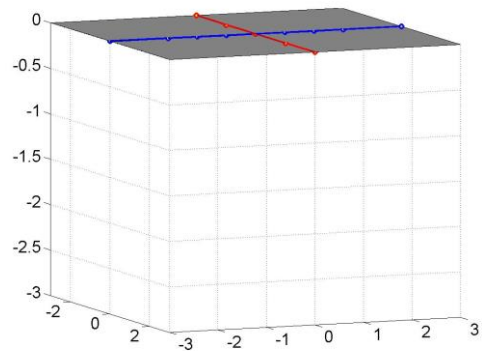
b)



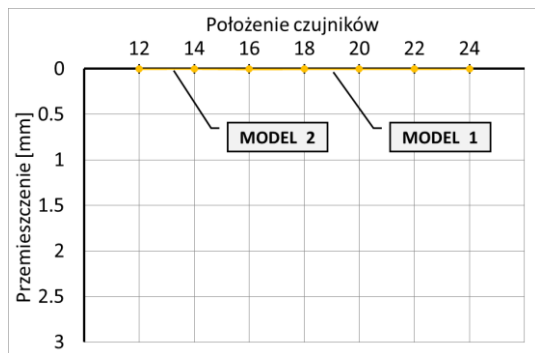
c)



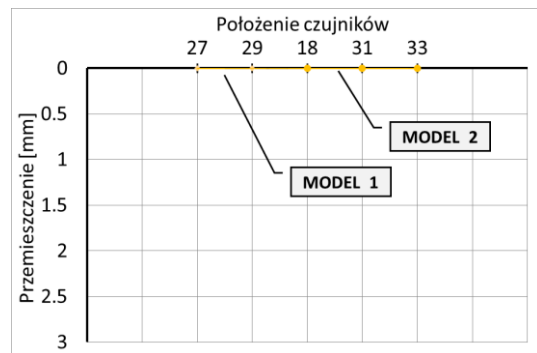
d)



e)



f)

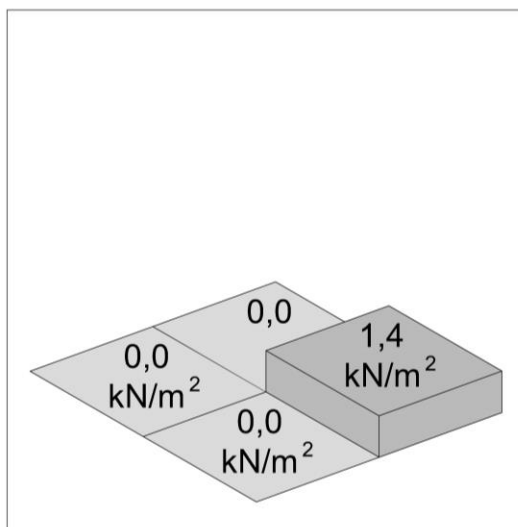


Rys. 11. Schemat obciążenia A: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) deformacja przestrzenna Modelu 1, d) deformacja przestrzenna Modelu 2, e) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów, f) przemieszczenia stropu wzdłuż osi prostopadłej do osi otworów

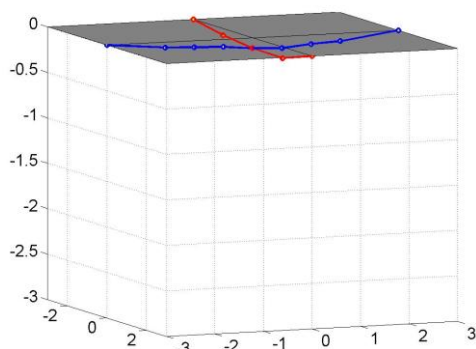
a)



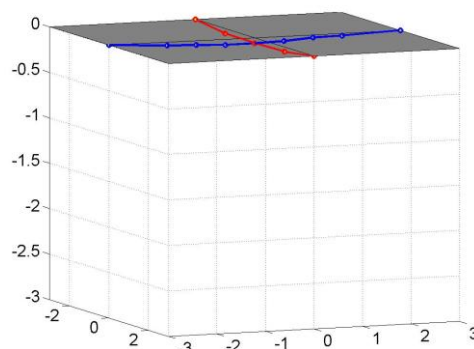
b)



c)



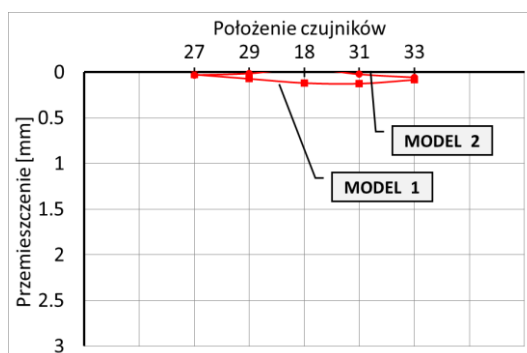
d)



e)



f)

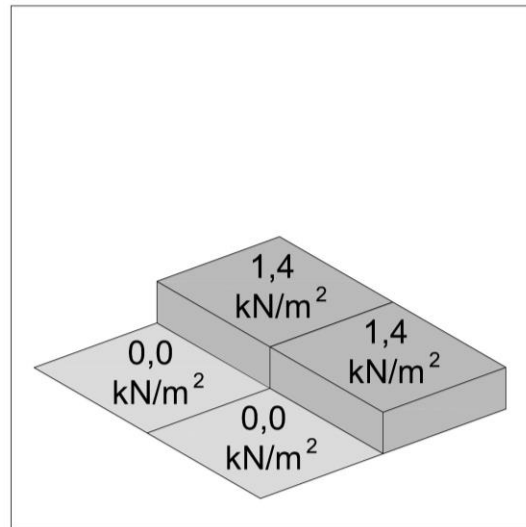


Rys. 12. Schemat obciążenia B: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) deformacja przestrzenna Modelu 1, d) deformacja przestrzenna Modelu 2, e) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów, f) przemieszczenia stropu wzdłuż osi prostopadłej do osi otworów

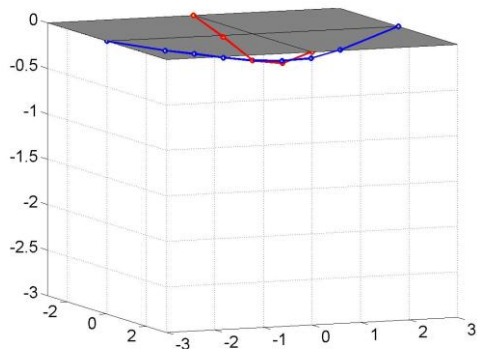
a)



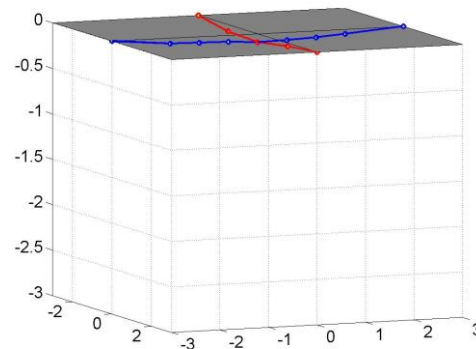
b)



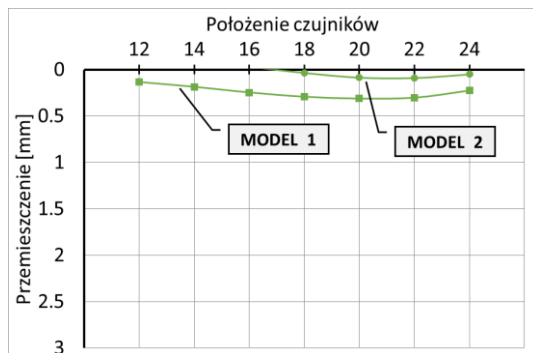
c)



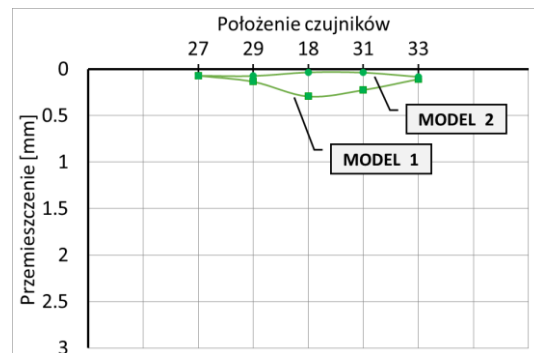
d)



e)



f)

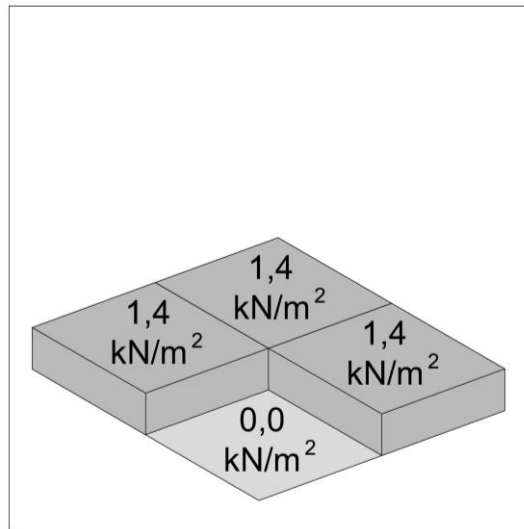


Rys. 13. Schemat obciążenia C: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) deformacja przestrzenna Modelu 1, d) deformacja przestrzenna Modelu 2, e) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów, f) przemieszczenia stropu wzdłuż osi prostopadłej do osi otworów

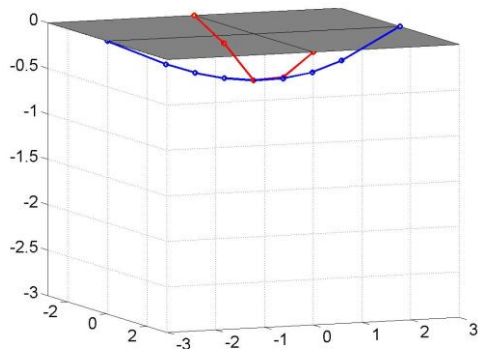
a)



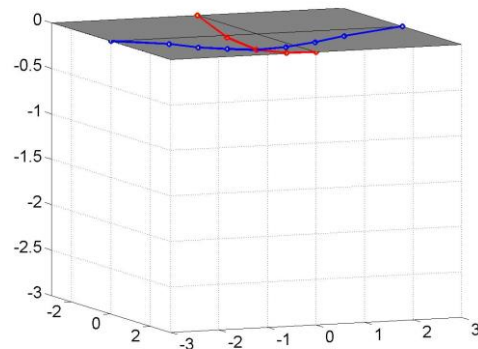
b)



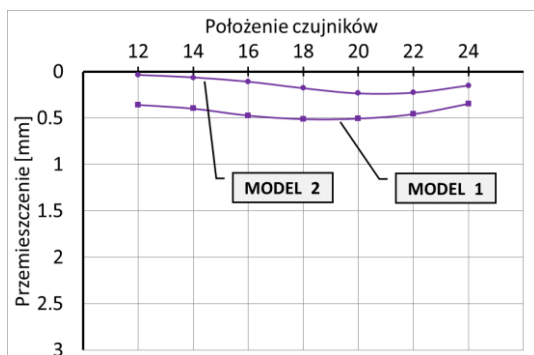
c)



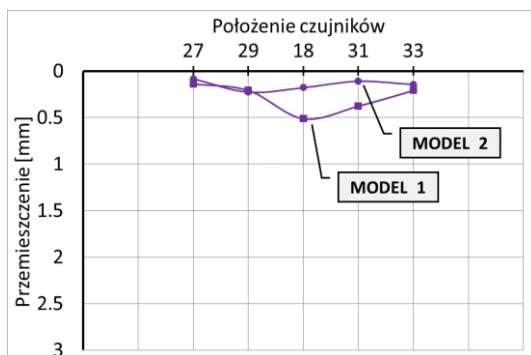
d)



e)



f)

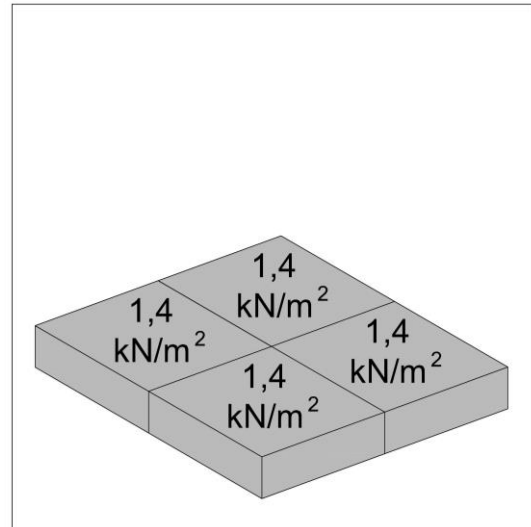


Rys. 14. Schemat obciążenia D: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) deformacja przestrzenna Modelu 1, d) deformacja przestrzenna Modelu 2, e) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów, f) przemieszczenia stropu wzdłuż osi prostopadłej do osi otworów

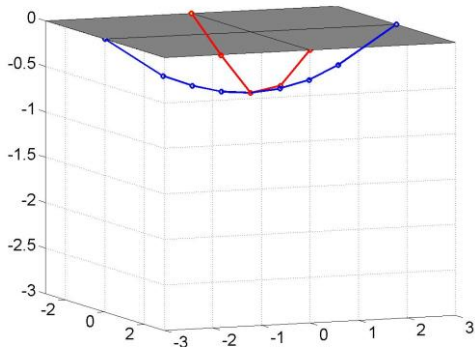
a)



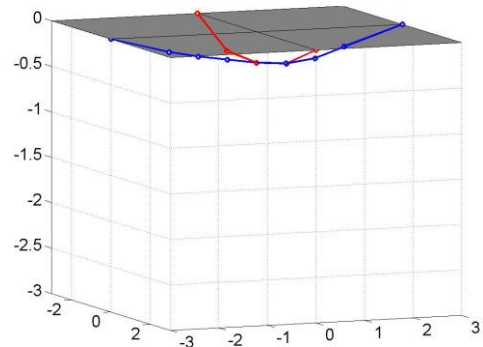
b)



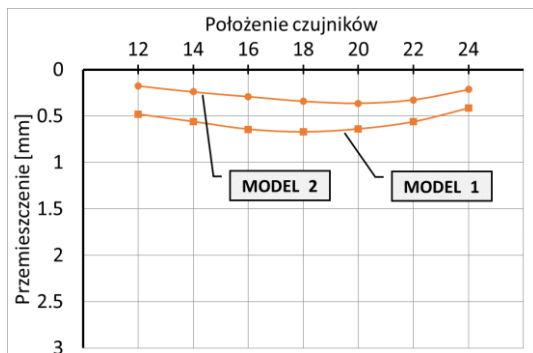
c)



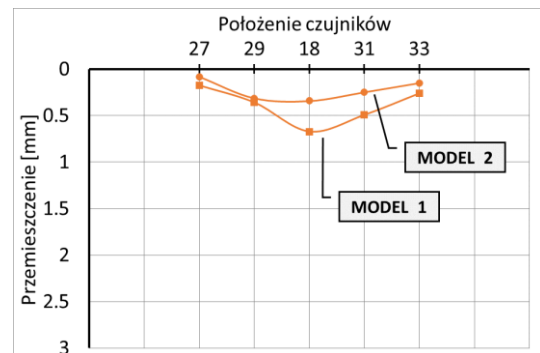
d)



e)



f)

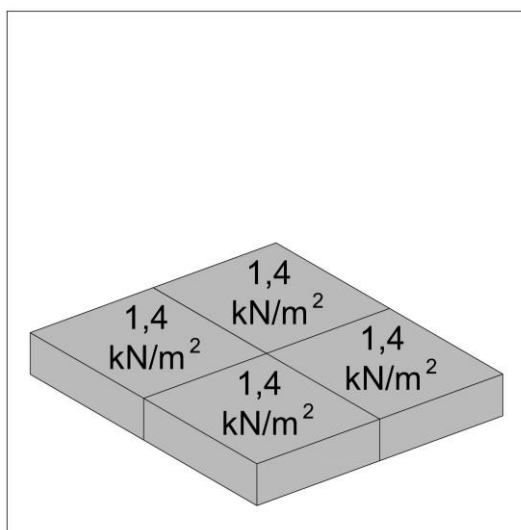


Rys. 15. Schemat obciążenia E: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) deformacja przestrzenna Modelu 1, d) deformacja przestrzenna Modelu 2, e) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów, f) przemieszczenia stropu wzdłuż osi prostopadłej do osi otworów

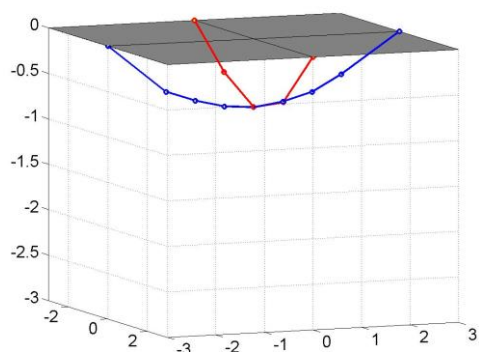
a)



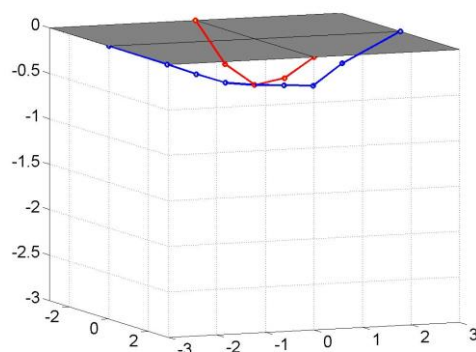
b)



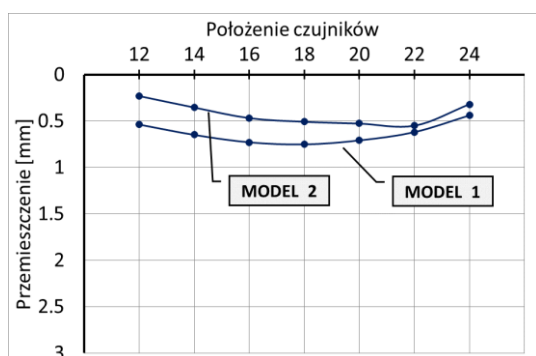
c)



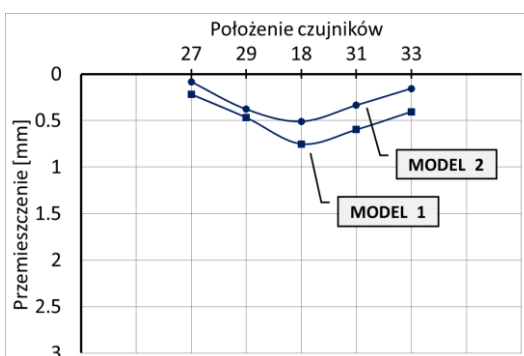
d)



e)



f)

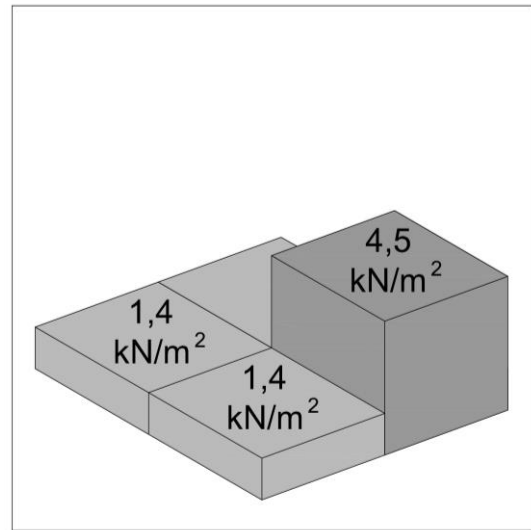


Rys. 16. Schemat obciążenia F: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) deformacja przestrzenna Modelu 1, d) deformacja przestrzenna Modelu 2, e) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów, f) przemieszczenia stropu wzdłuż osi prostopadłej do osi otworów

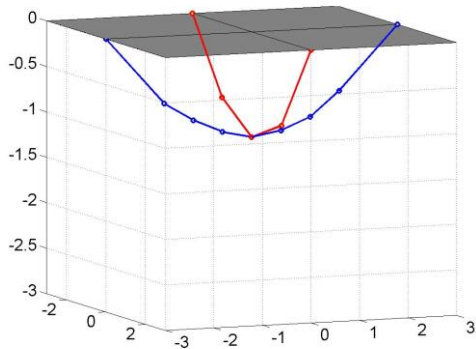
a)



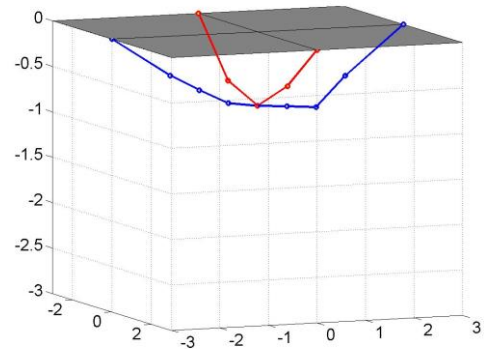
b)



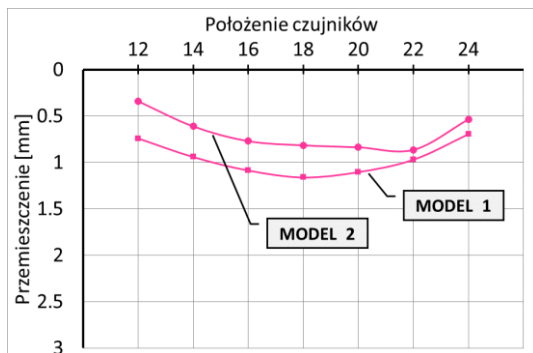
c)



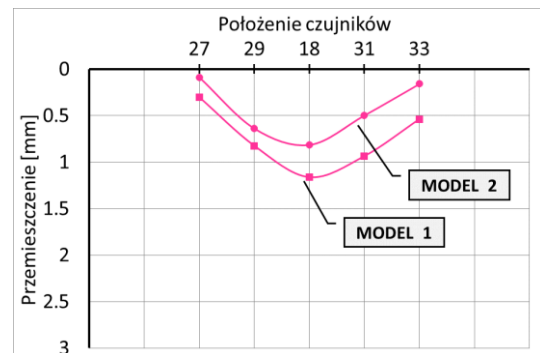
d)



e)



f)

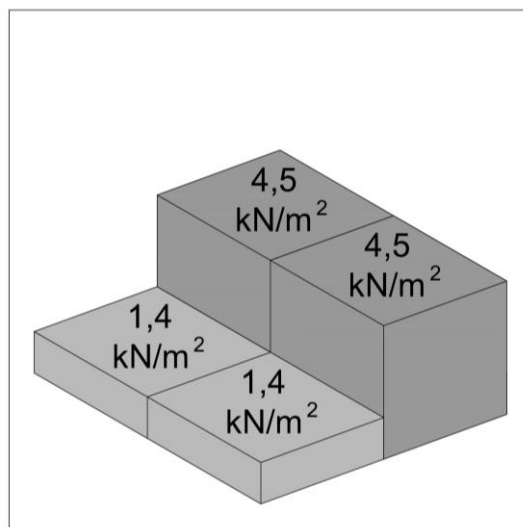


Rys. 17. Schemat obciążenia G: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) deformacja przestrzenna Modelu 1, d) deformacja przestrzenna Modelu 2, e) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów, f) przemieszczenia stropu wzdłuż osi prostopadłej do osi otworów

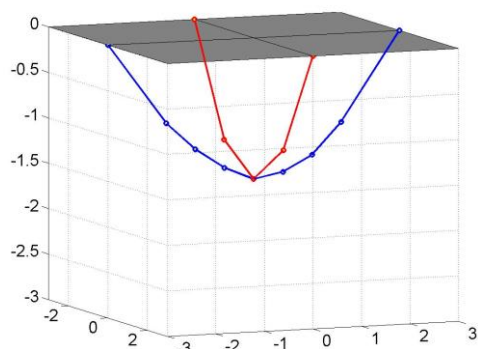
a)



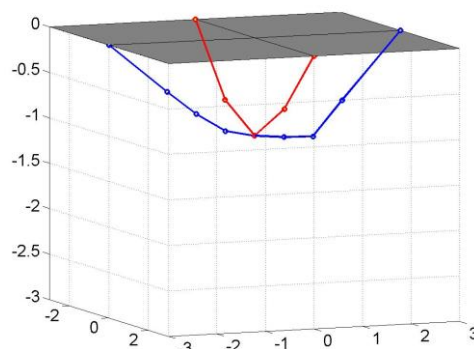
b)



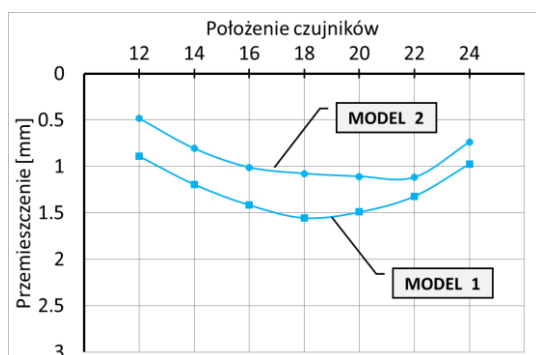
c)



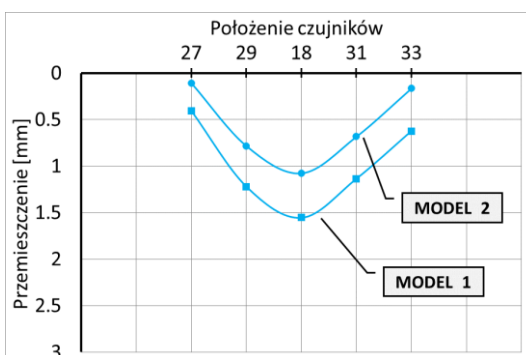
d)



e)



f)

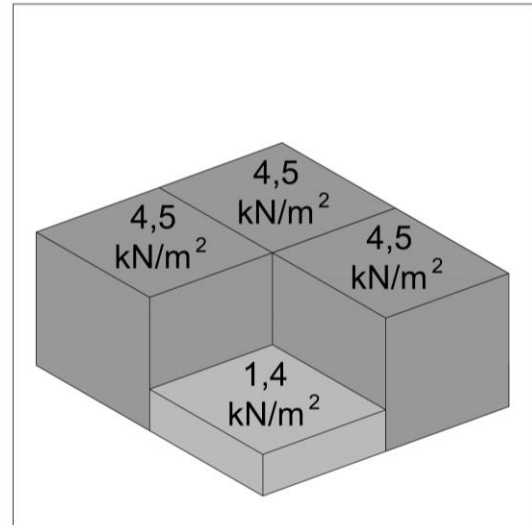


Rys. 18. Schemat obciążenia H: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) deformacja przestrzenna Modelu 1, d) deformacja przestrzenna Modelu 2, e) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów, f) przemieszczenia stropu wzdłuż osi prostopadłej do osi otworów

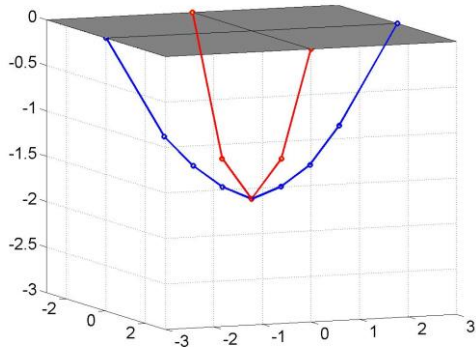
a)



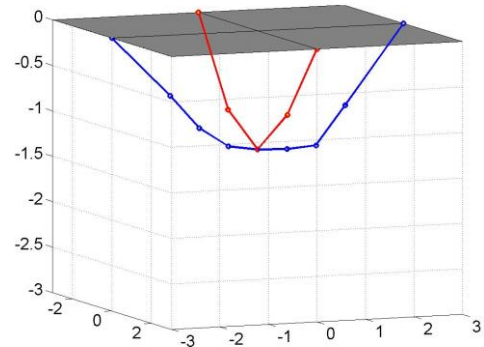
b)



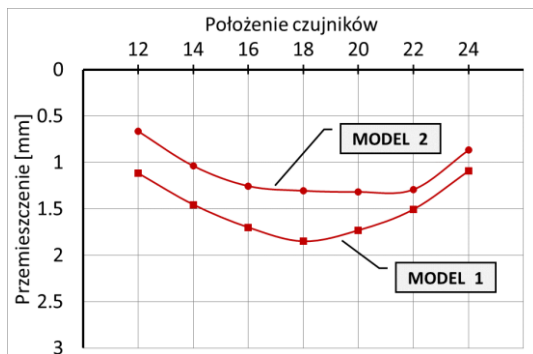
c)



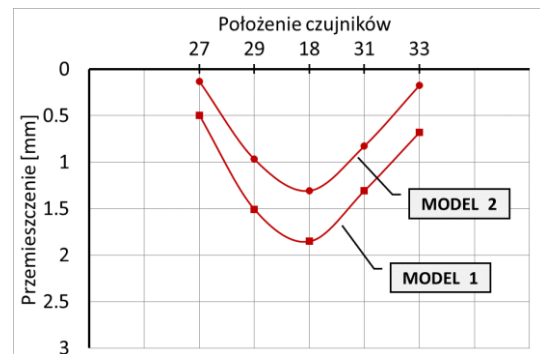
d)



e)



f)

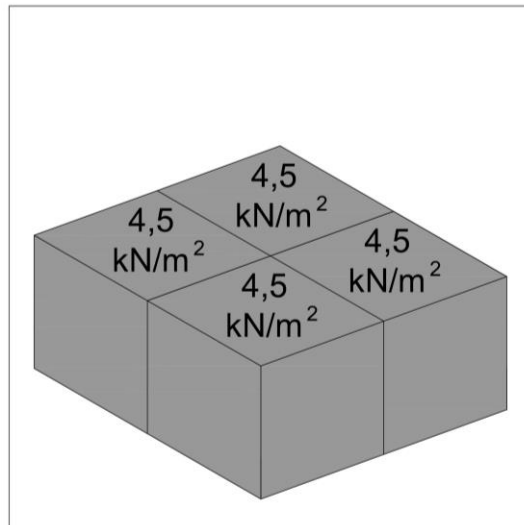


Rys. 19. Schemat obciążenia I: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) deformacja przestrzenna Modelu 1, d) deformacja przestrzenna Modelu 2, e) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów, f) przemieszczenia stropu wzdłuż osi prostopadłej do osi otworów

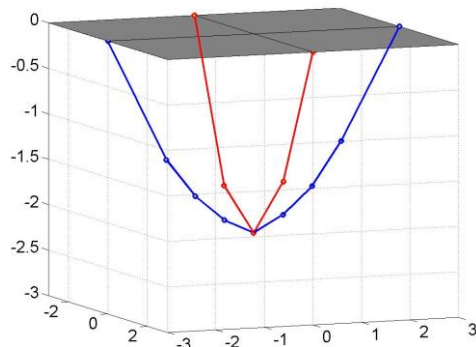
a)



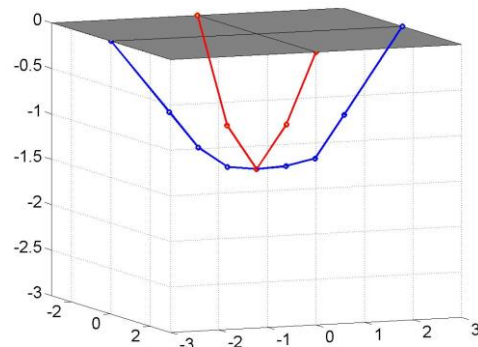
b)



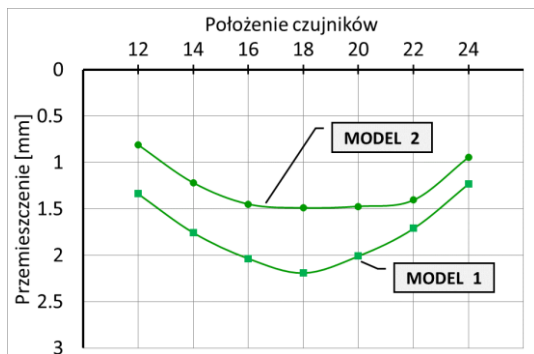
c)



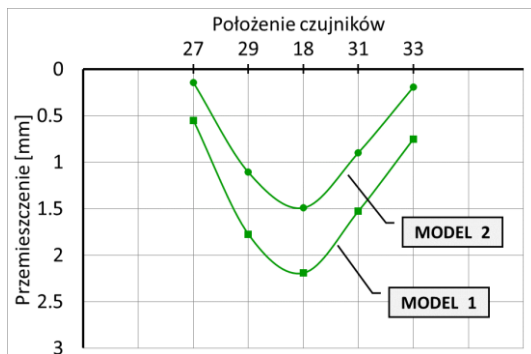
d)



e)



f)

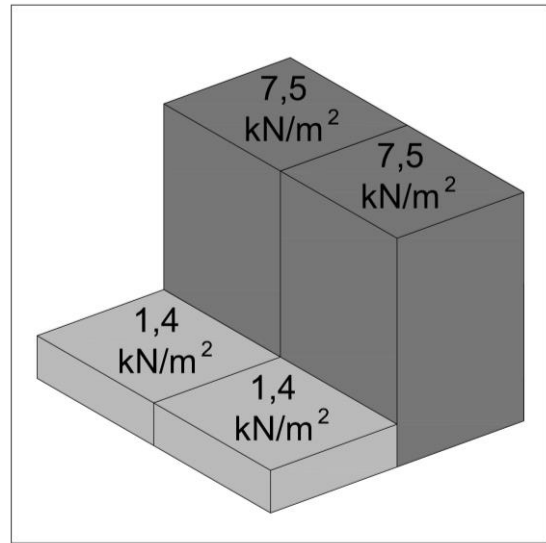


Rys. 20. Schemat obciążenia J: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) deformacja przestrzenna Modelu 1, d) deformacja przestrzenna Modelu 2, e) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów, f) przemieszczenia stropu wzdłuż osi prostopadłej do osi otworów

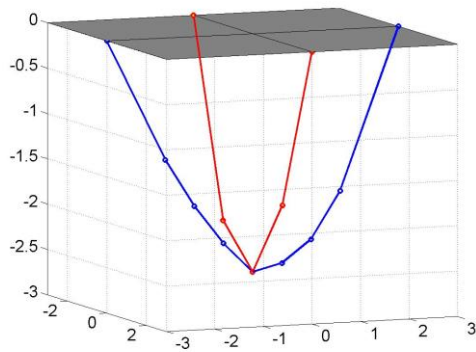
a)



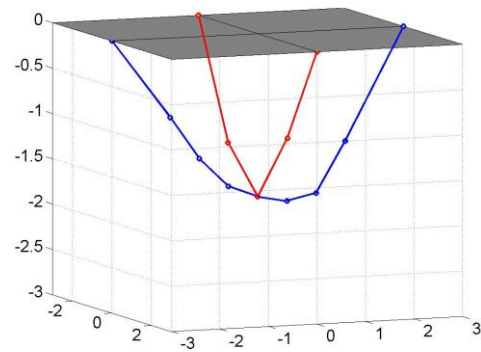
b)



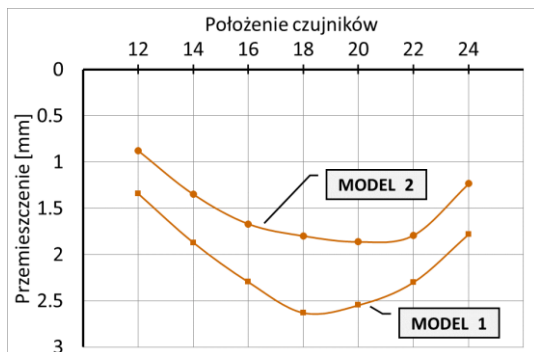
c)



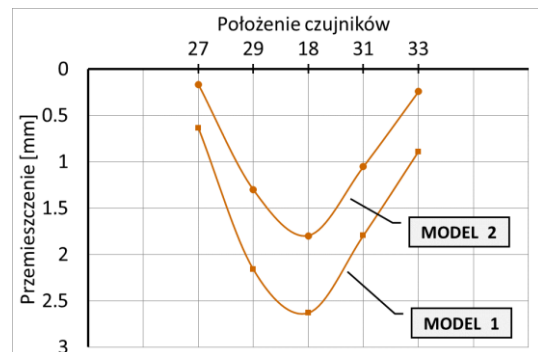
d)



e)



f)

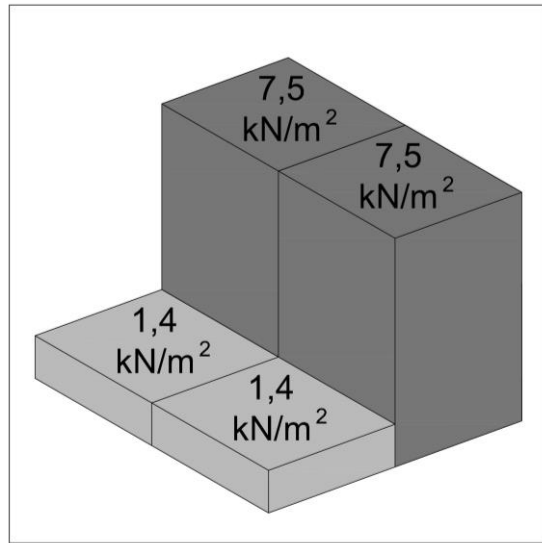


Rys. 21. Schemat obciążenia K: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) deformacja przestrzenna Modelu 1, d) deformacja przestrzenna Modelu 2, e) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów, f) przemieszczenia stropu wzdłuż osi prostopadłej do osi otworów

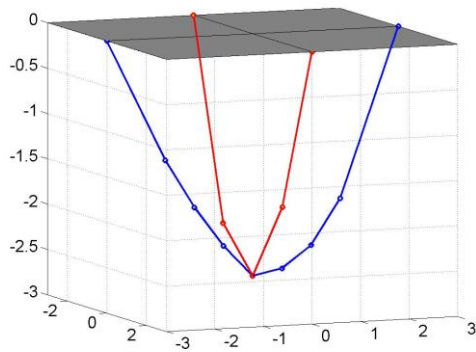
a)



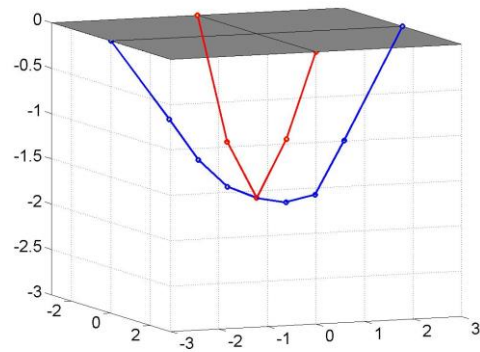
b)



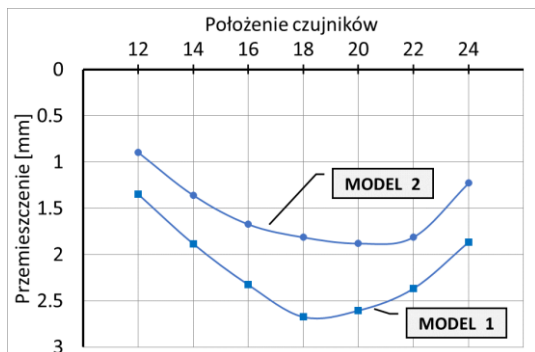
c)



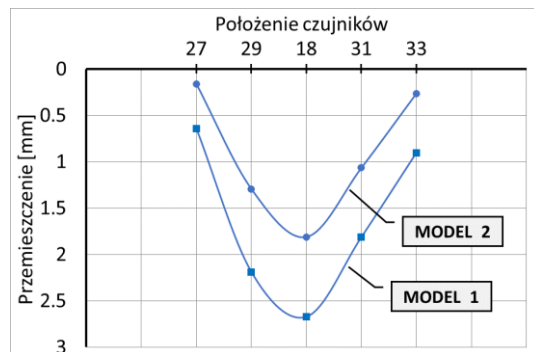
d)



e)



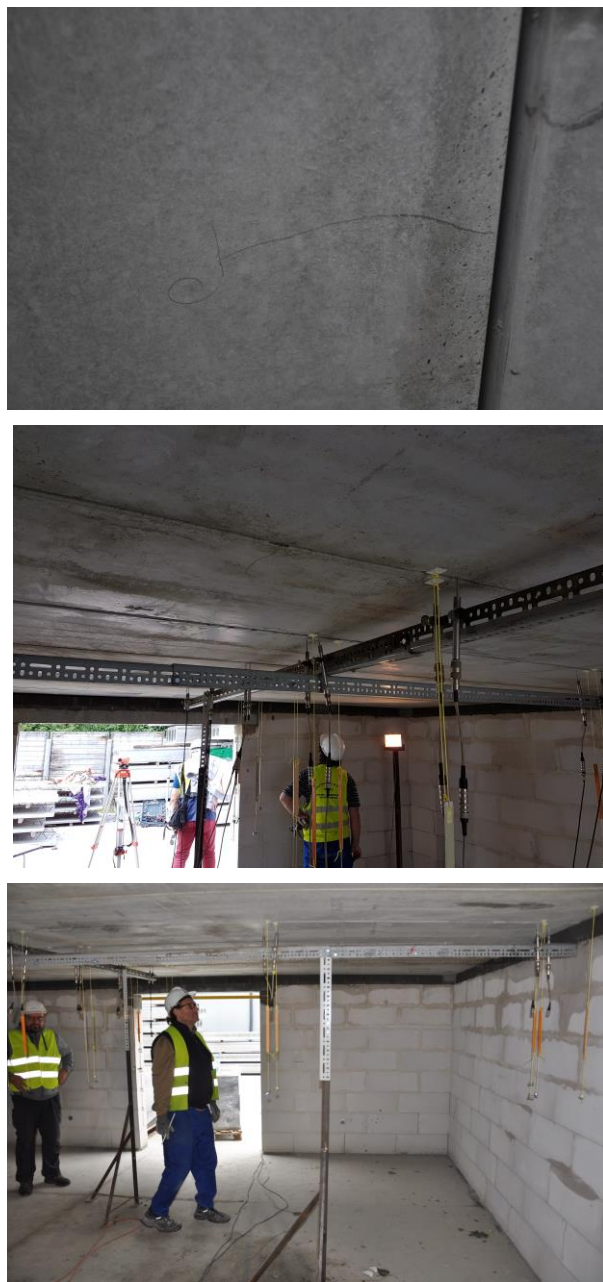
f)



Rys. 22. Schemat obciążenia L: a) widok górnej powierzchni stropu, b) rozkład obciążenia, c) deformacja przestrzenna Modelu 1, d) deformacja przestrzenna Modelu 2, e) przemieszczenia stropu wzdłuż osi otworów, f) przemieszczenia stropu wzdłuż osi prostopadłej do osi otworów

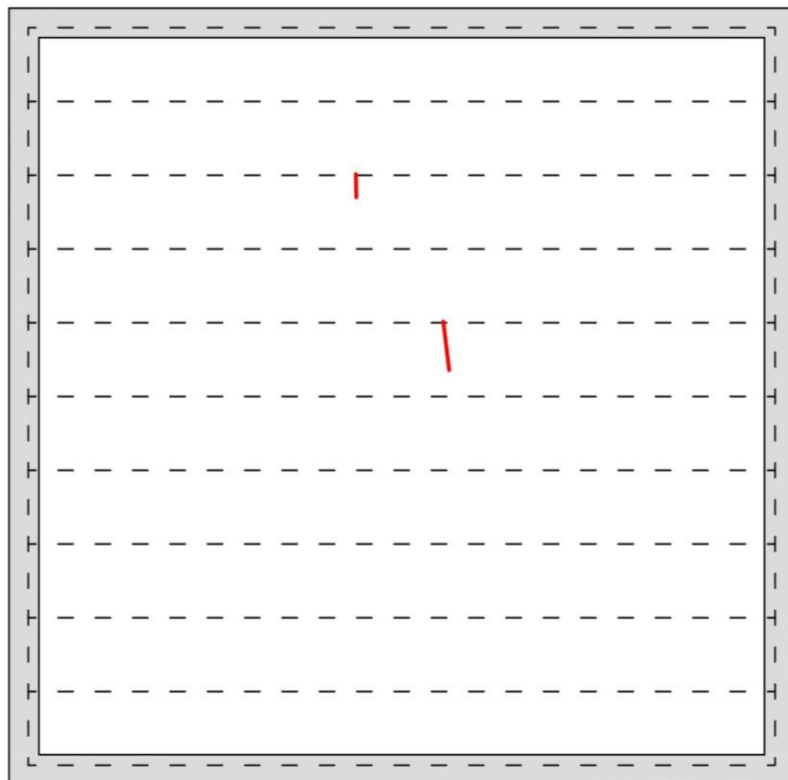
4.1.2 Zarysowania

W czasie prowadzonych doraźnych badań prowadzona była również inwentaryzacja rozwoju zarysowań dolnej powierzchni badanych modeli – rys. 23. Na rys. 24÷ rys. 25 zamieszczono zarysowania dolnej powierzchni Modelu 1 oraz Modelu 2 odpowiednio przy braku obciążenia, przy pełnym obciążeniu równym $4,5 \text{ kN/m}^2$, oraz zarysowania po zakończeniu procesu obciążania modelu. Pokazano rysy widoczne nieuzbrojonym okiem o szerokości $>0,05 \text{ mm}$.

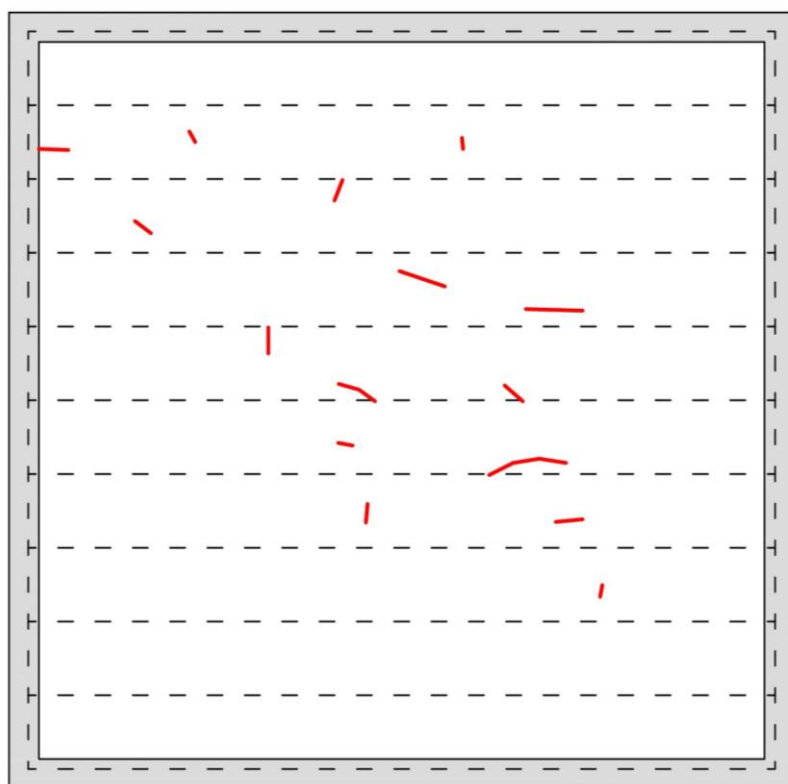


Rys. 23. Procedura inwentaryzacji zarysowań

a)

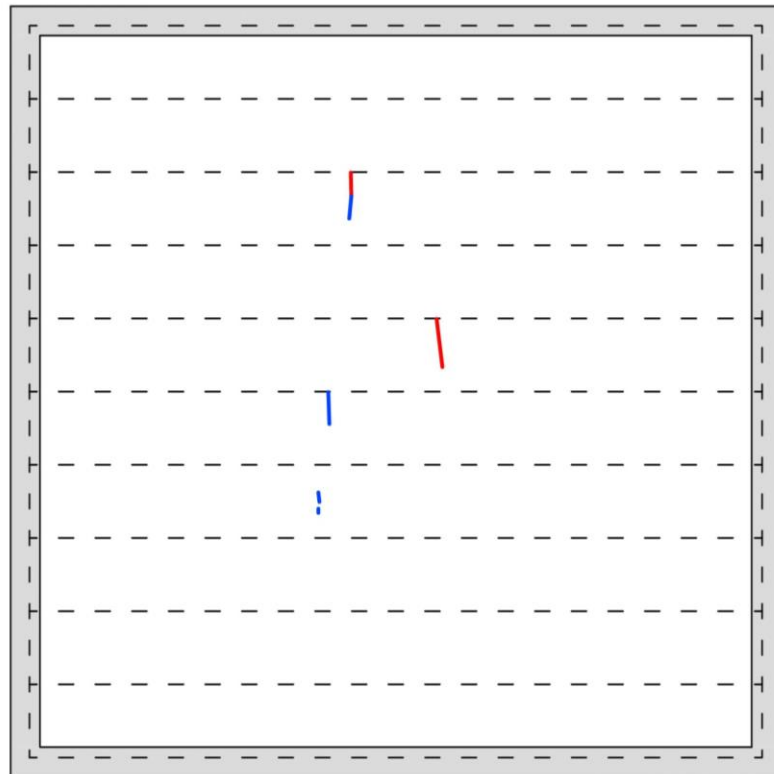


b)

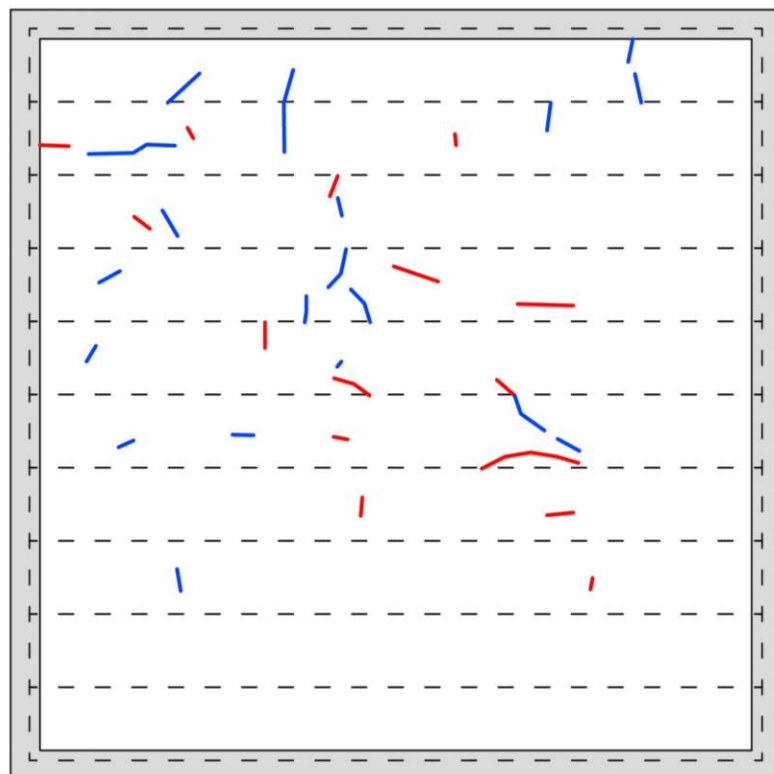


Rys. 24. Obraz zarysowania dolnej powierzchni modeli przy obciążeniu $4,5 \text{ kN/m}^2$ (schemat obciążenia J): a) Model 1, b) Model 2

a)



b)



Rys. 25. Obraz zarysowania dolnej powierzchni modeli przy obciążeniu $7,5 \text{ kN/m}^2$ (schemat obciążenia L): a) Model 1, b) Model 2

4.2 Analiza wyników

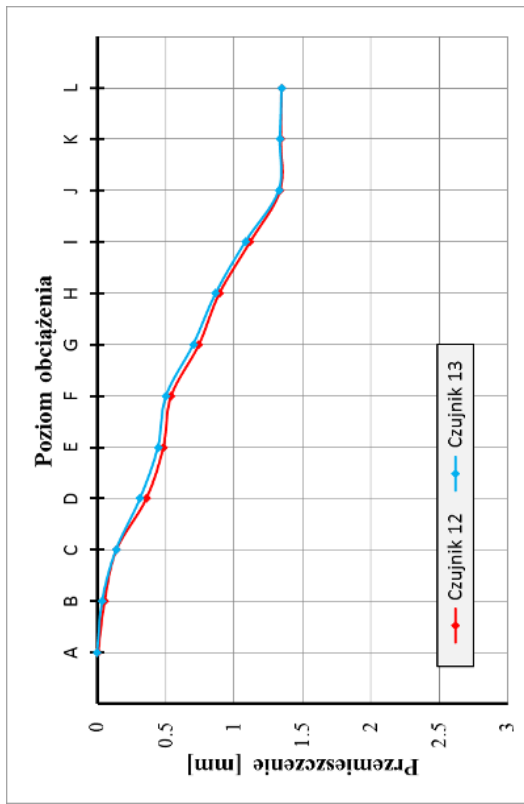
4.2.1 Klawiszowanie stropów

Jednym z głównych problemów przy eksploatacji zespolonych stropów mogą być pionowe przemieszczenia pomiędzy sąsiednimi płytami tzw. klawiszowanie. W celu sprawdzenia, czy wystąpi zjawisko klawiszowania na sąsiadujących płytach w bardzo małej odległości od siebie (trzcień każdego czujnika znajdował się w odległości około 10 mm od szczeliny pomiędzy płytami - rys. 26) umieszczono czujniki indukcyjne i określano różnicę pionowych przemieszczeń. Na rys. 27 ÷ rys. 37 zamieszczono wykresy przemieszczeń w poszczególnych punktach pomiarowych (schemat rozmieszczenia czujników - rys. 9) oraz określone na ich podstawie różnice przemieszczeń pomiędzy sąsiednimi płytami. Podczas badań nie stwierdzono klawiszowania płyt, nawet przy największej różnicy obciążenia na sąsiednich płytach.



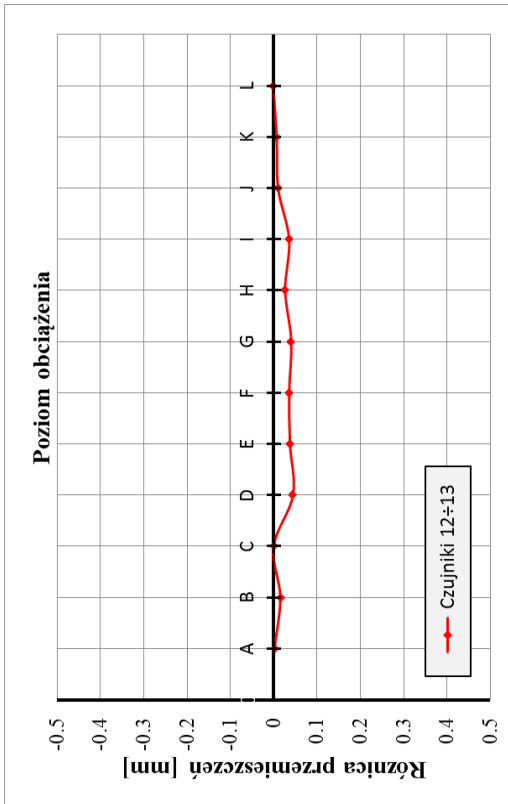
Rys. 26. Szczegół montażu czujników indukcyjnych do pomiaru ewentualnego klawiszowania stropu

b)

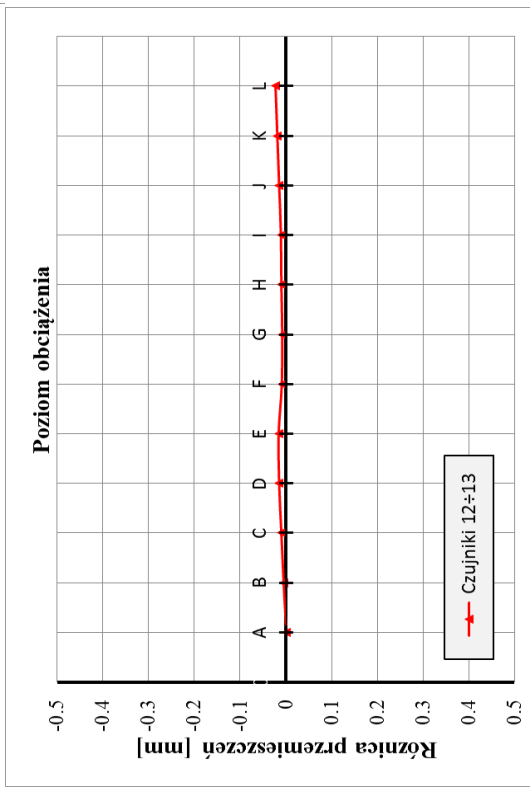
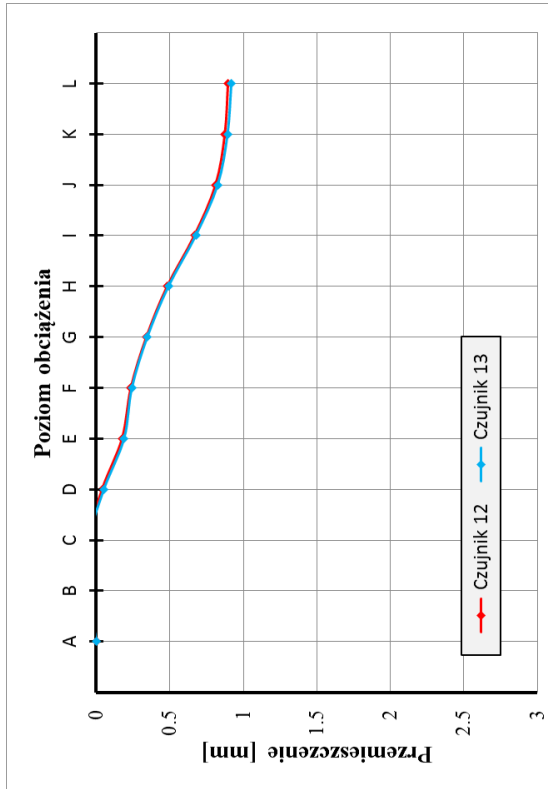


a)

d)

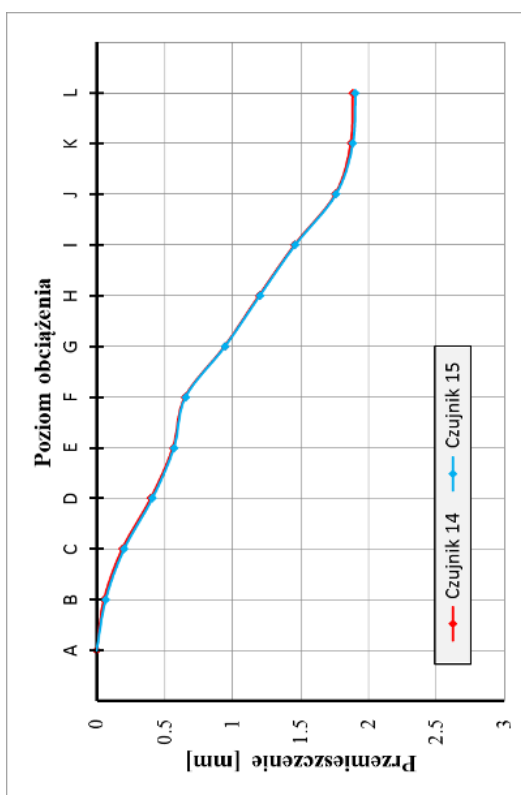


c)

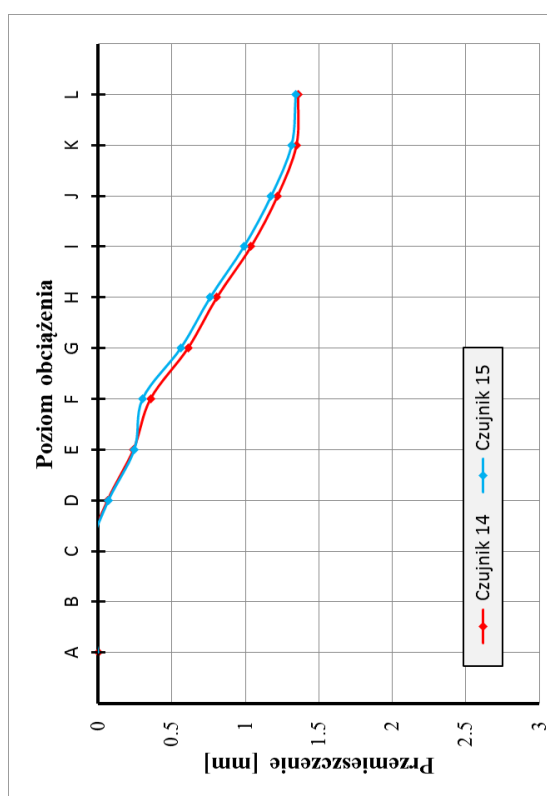


Rys. 27. Czujniki 12 i 13: a) wykres przemieszczeń Model 1, b) wykres przemieszczeń Model 2, c) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami Model 1, d) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami Model 2

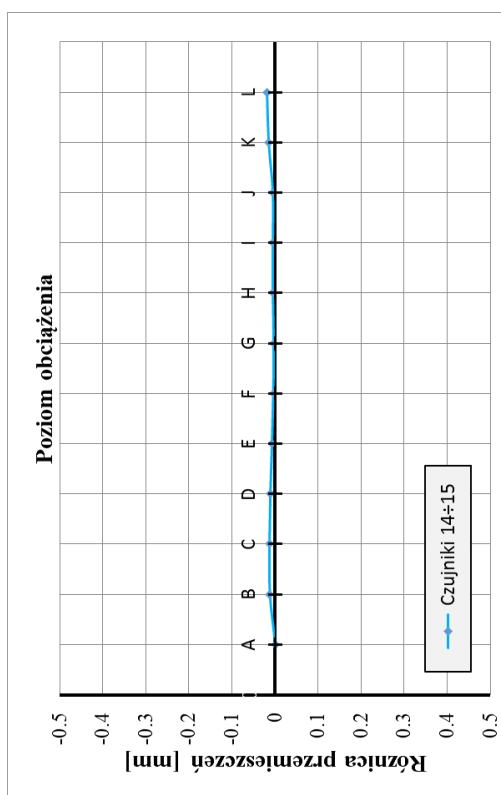
b)



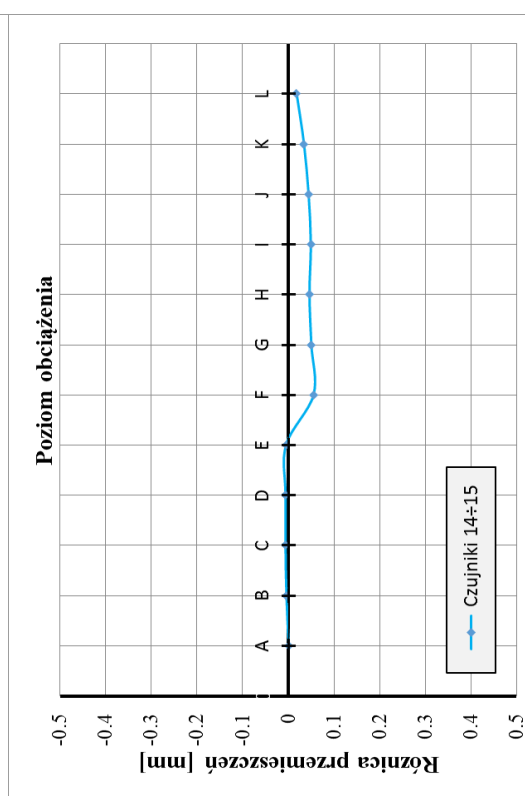
a)



d)

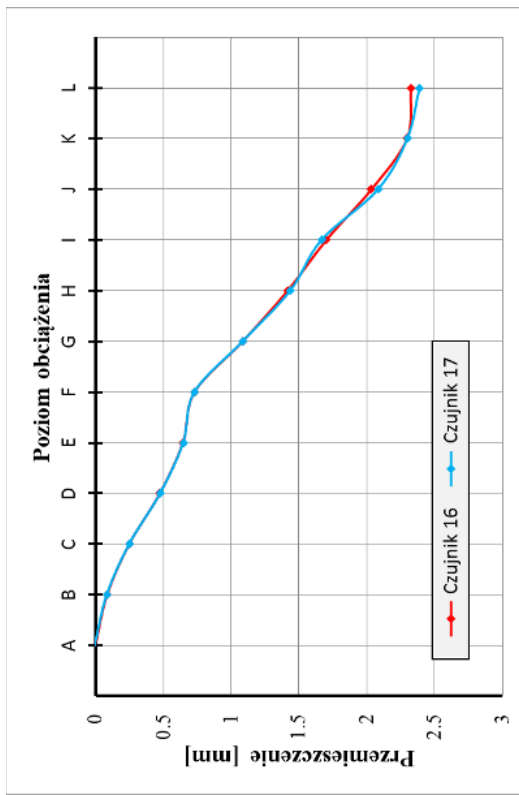


c)

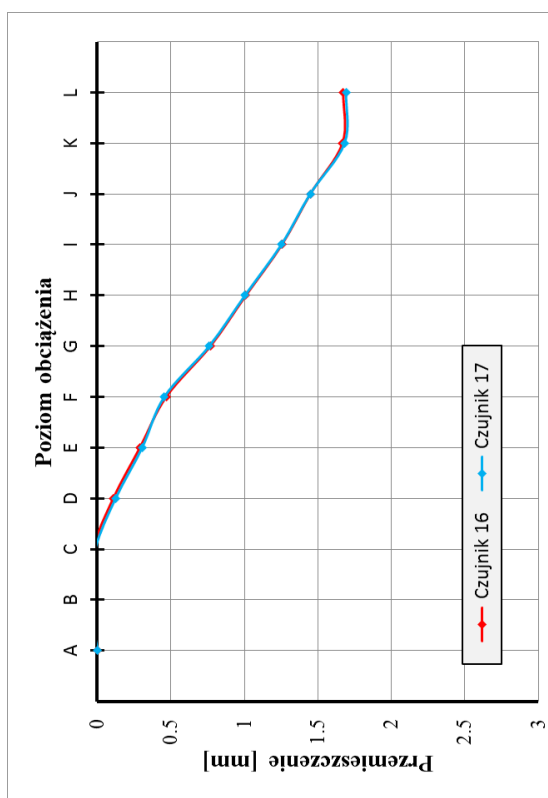


Rys. 28. Czujniki 14 i 15: a) wykres przemieszczeń Model 1, b) wykres przemieszczeń Model 2, c) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami, d) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami Model 2

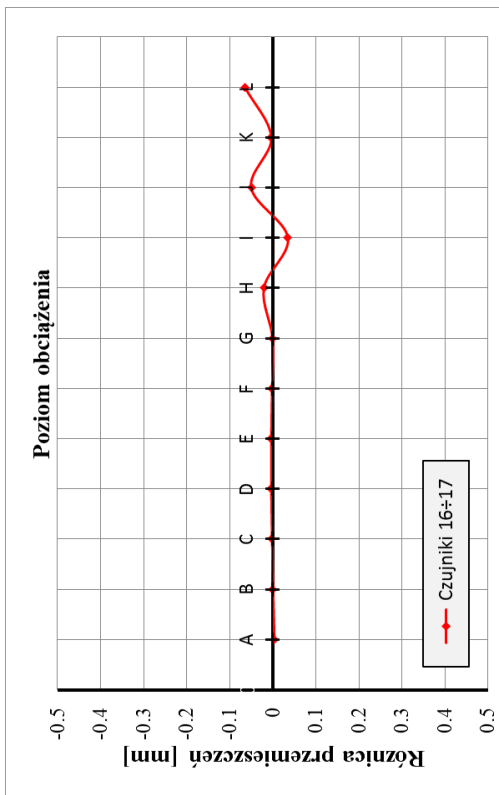
b)



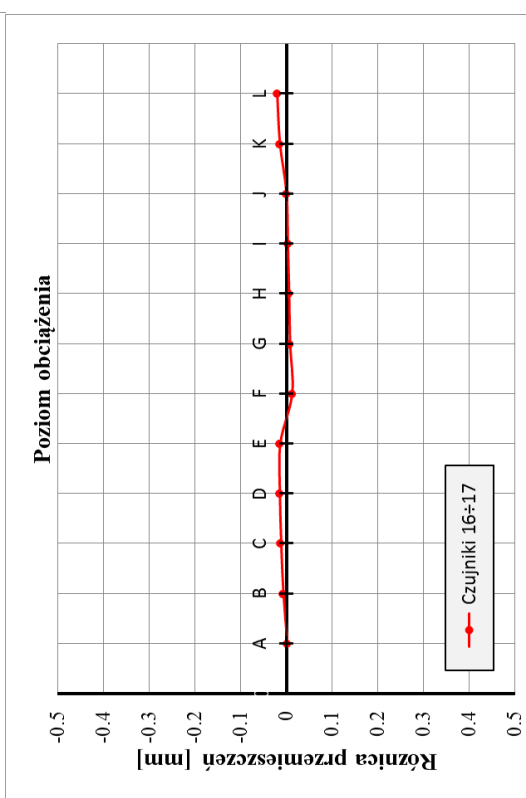
a)



d)

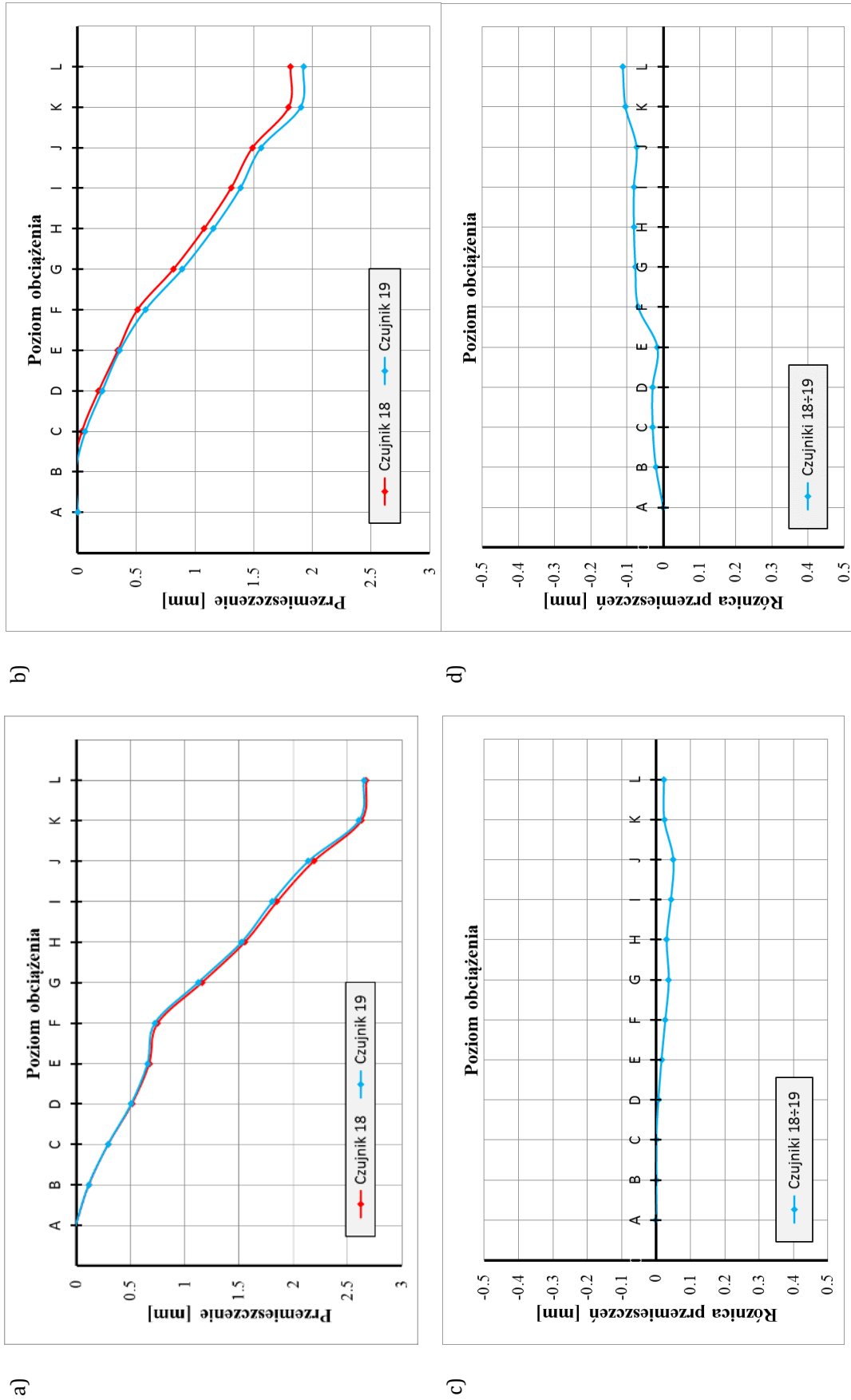


c)



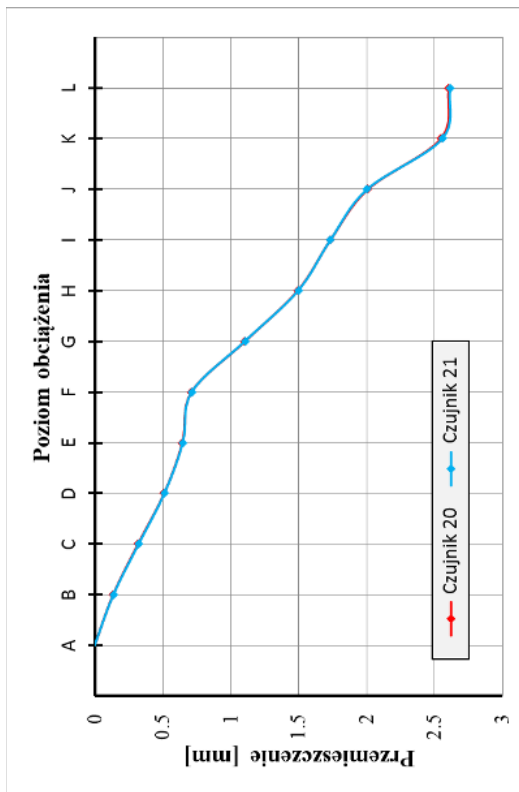
Rys. 29. Czujniki 16 i 17: a) wykres przemieszczeń Model 1, b) wykres przemieszczeń Model 2, c) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami,

d) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami Model 2

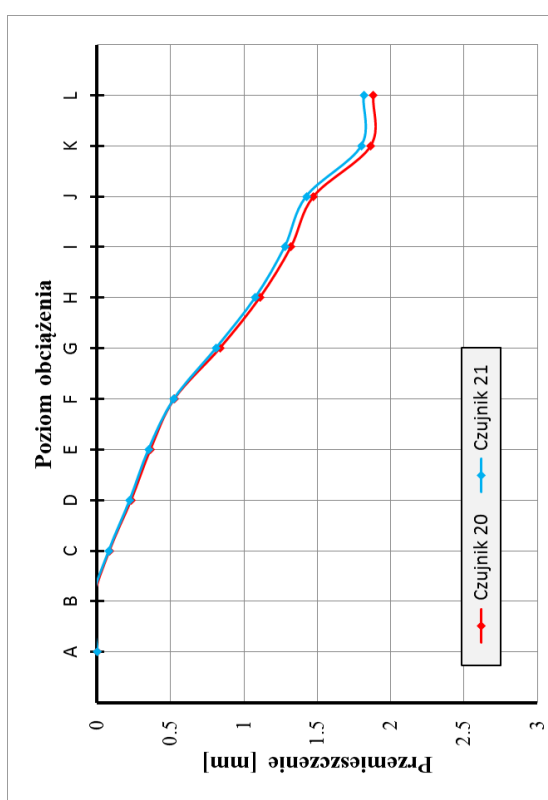


Rys. 30. Czujniki 18 i 19: a) wykres przemieszczeń Model 1, b) wykres przemieszczeń Model 2, c) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami, d) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami Model 2

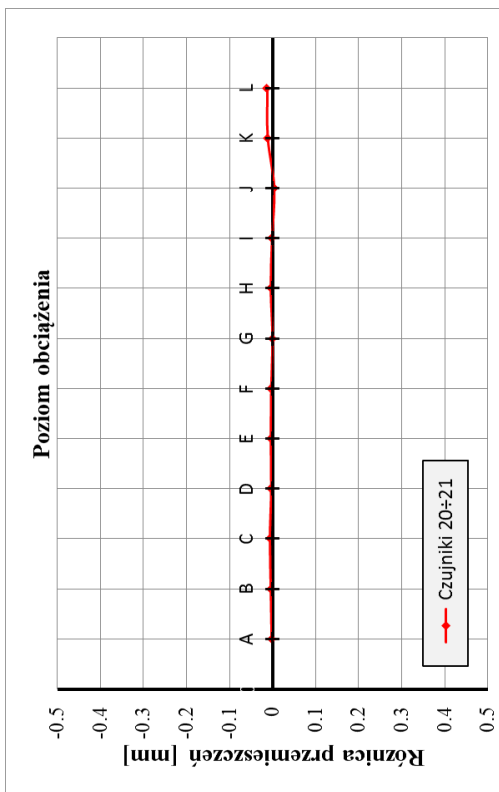
b)



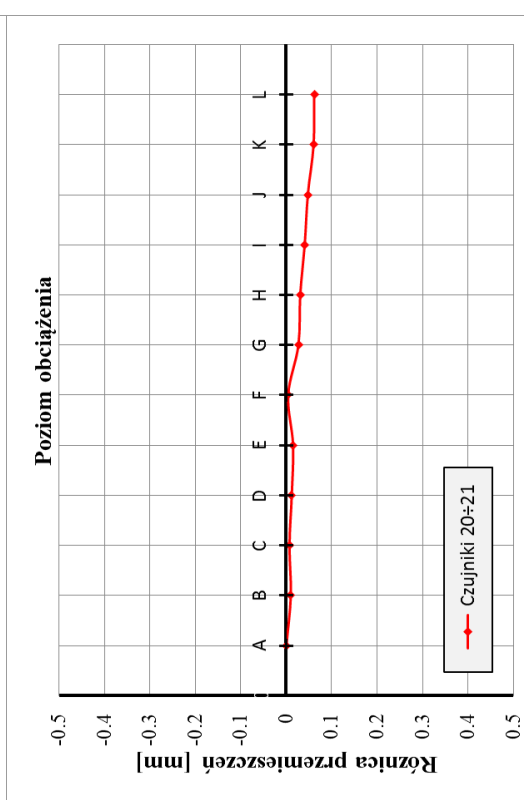
a)



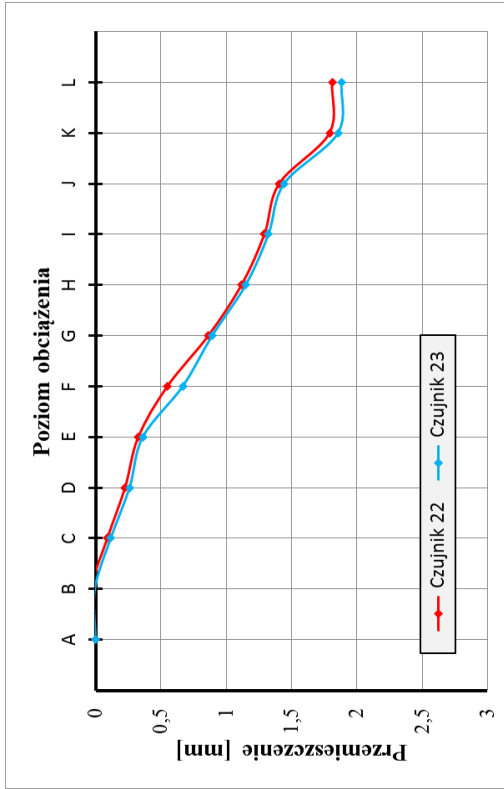
d)



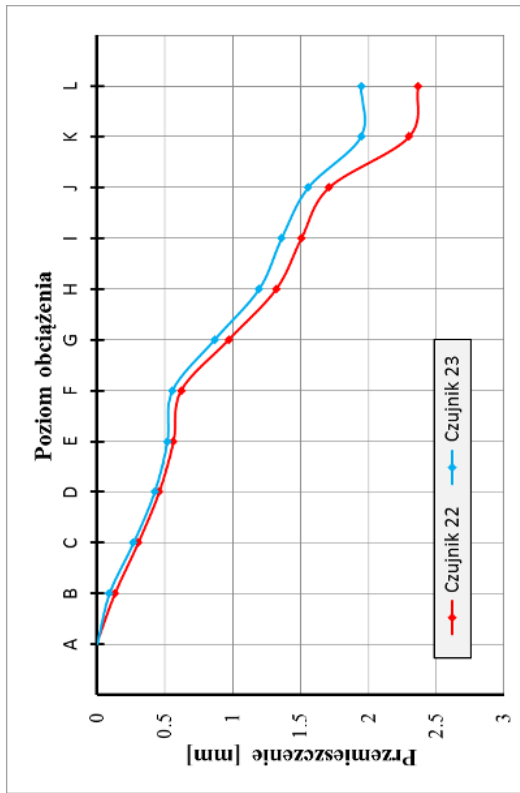
c)



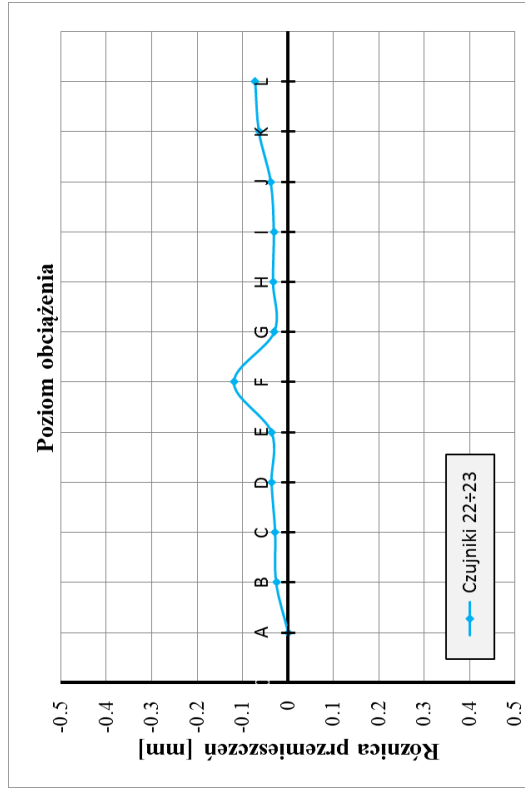
Rys. 31. Czujniki 20 i 21: a) wykres przemieszczeń Model 1, b) wykres przemieszczeń Model 2, c) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami, d) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami Model 2



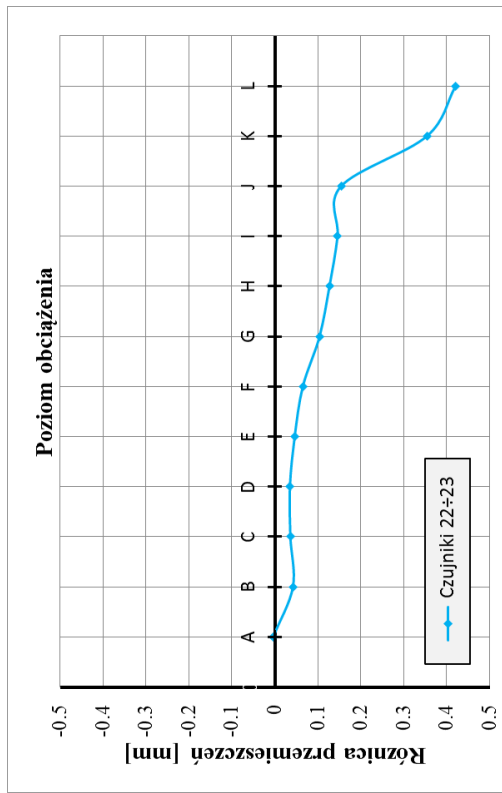
a)



b)



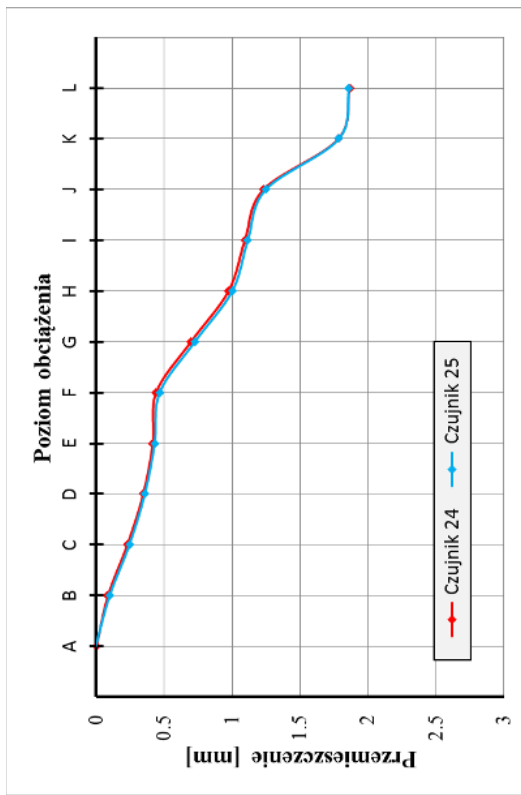
c)



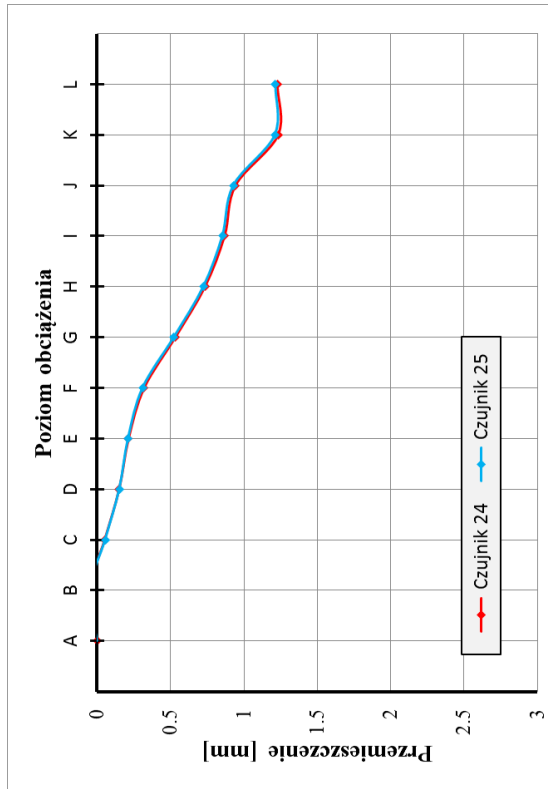
d)

Rys. 32. Czujniki 22 i 23: a) wykres przesieszczeń Model 1, b) wykres przesieszczeń Model 2, c) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami, d) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami Model 2

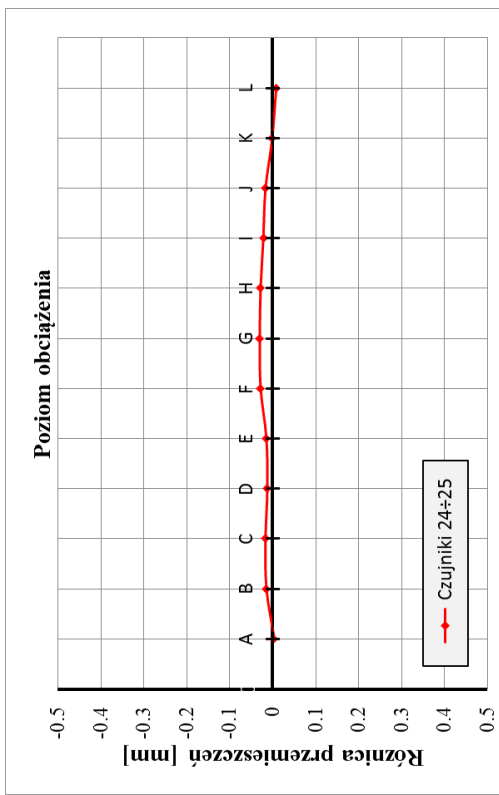
b)



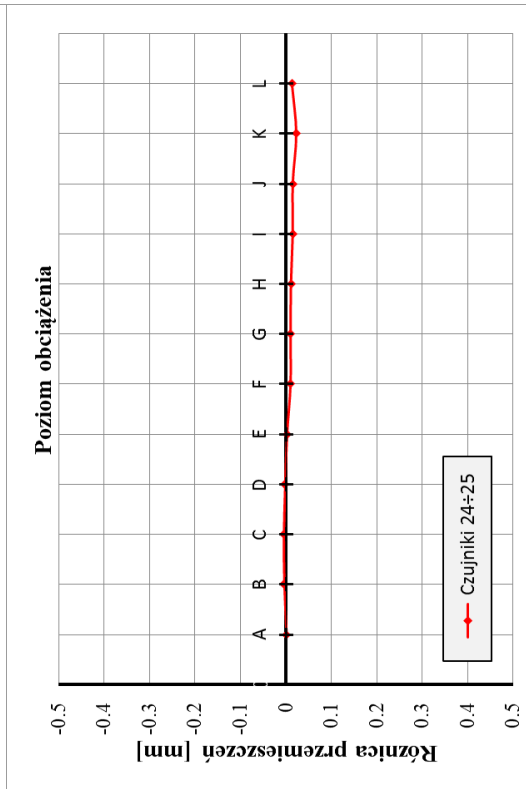
a)



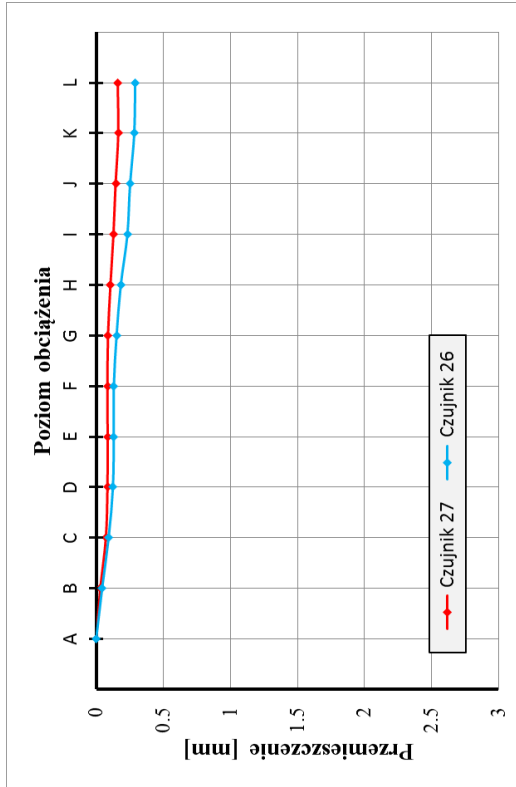
d)



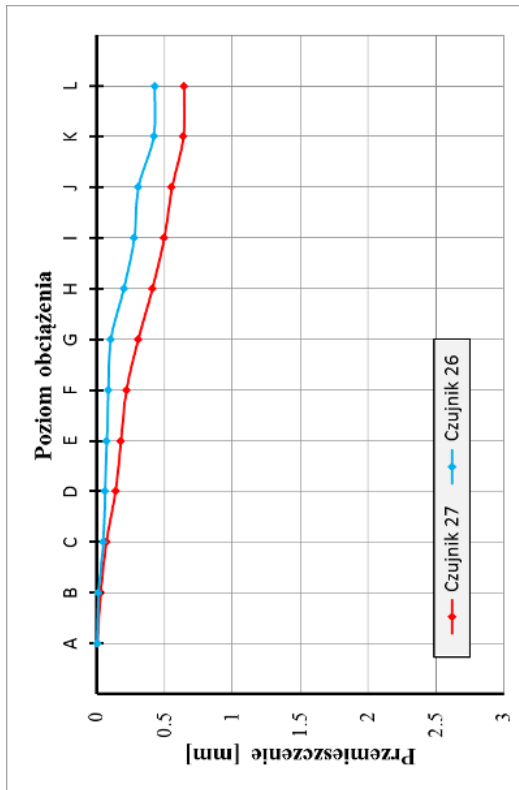
c)



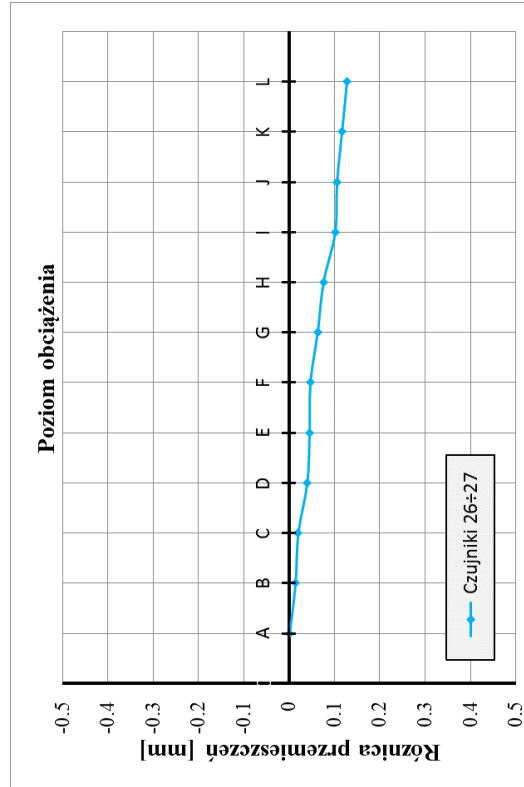
Rys. 33. Czujniki 24 i 25: a) wykres przemieszczeń Model 1, b) wykres przemieszczeń Model 2, c) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami, d) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami Model 2



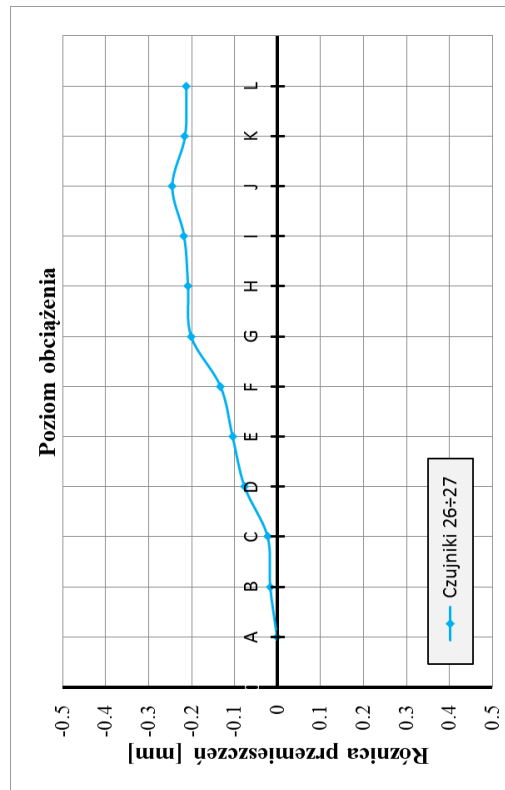
b)



a)

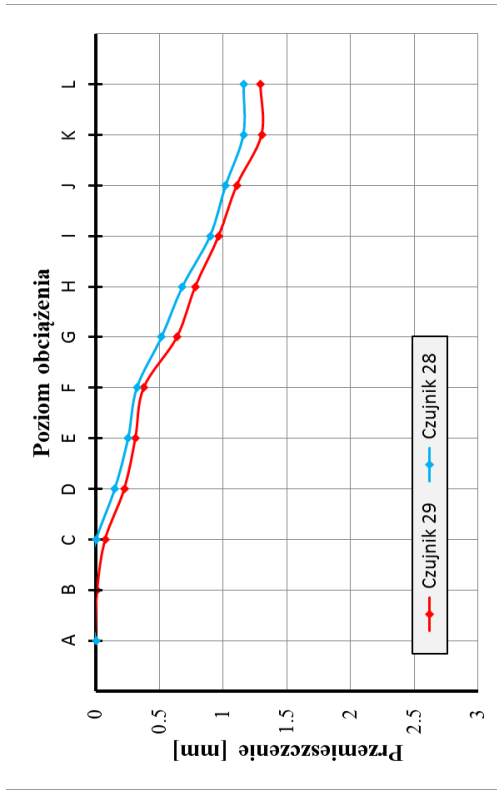


d)

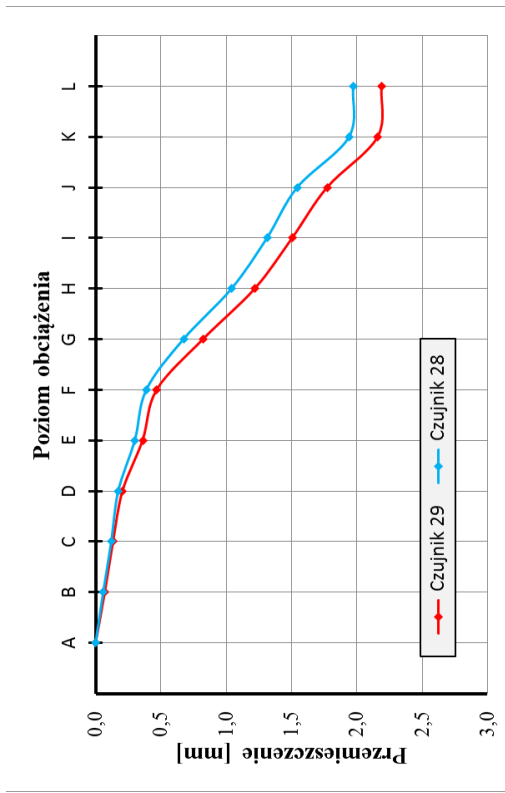


c)

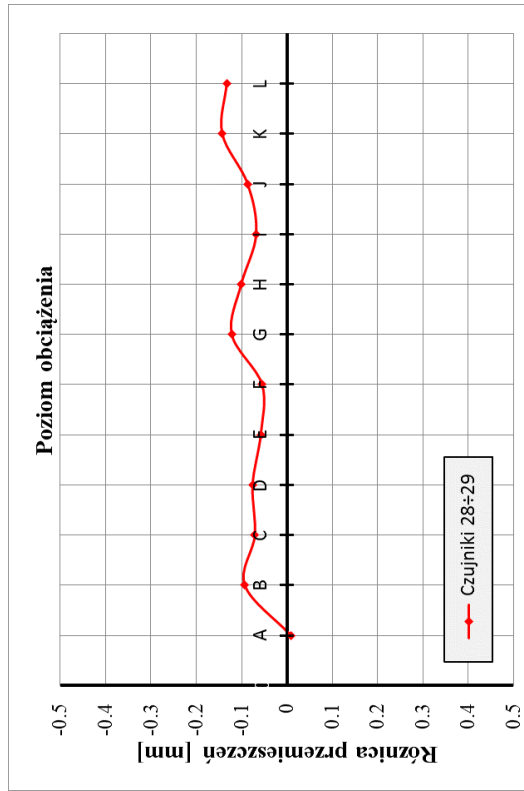
Rys. 34. Czujniki 26 i 27: a) wykres przemieszczeń Model 1, b) wykres przemieszczeń Model 2, c) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami Model 2 d) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami Model 2



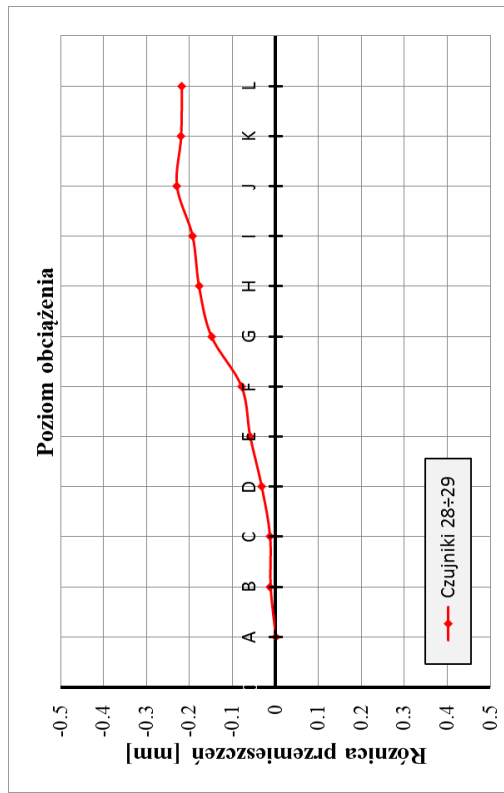
b)



a)



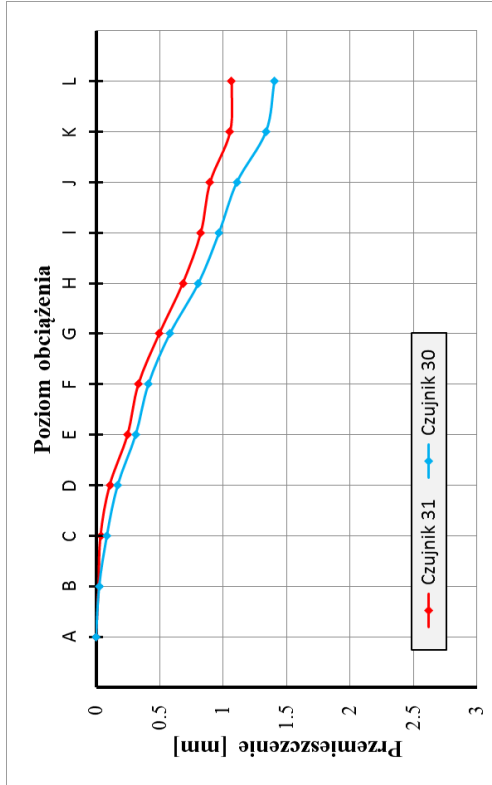
d)



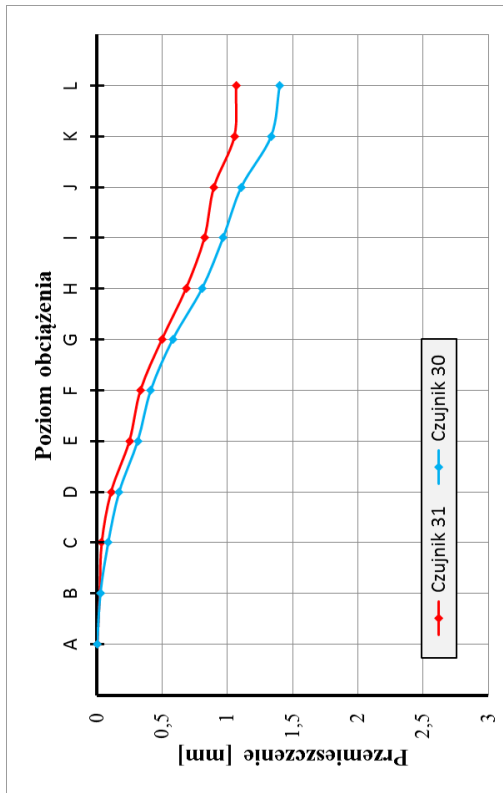
c)

Rys. 35. Czujniki 28 i 29: a) wykres przemieszczeń Model 1, b) wykres przemieszczeń Model 2, c) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami

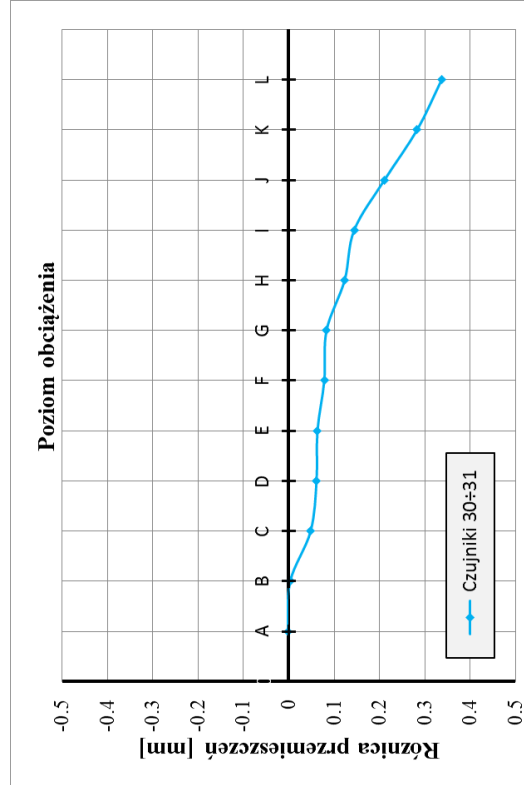
d) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami Model 2



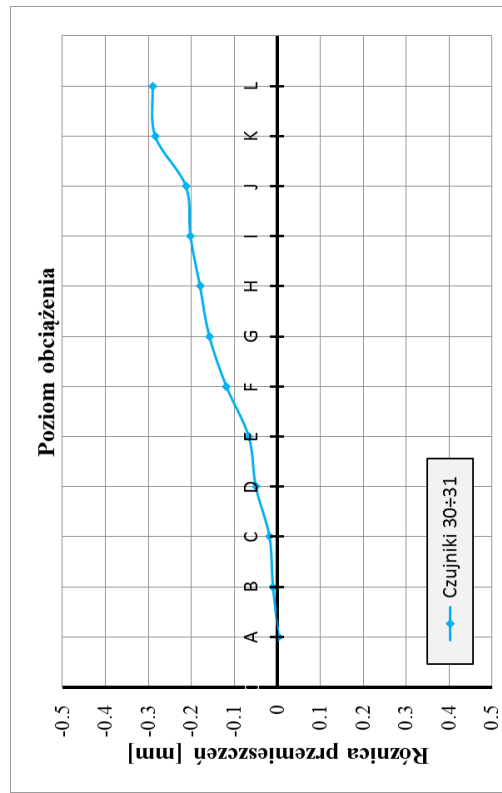
b)



a)



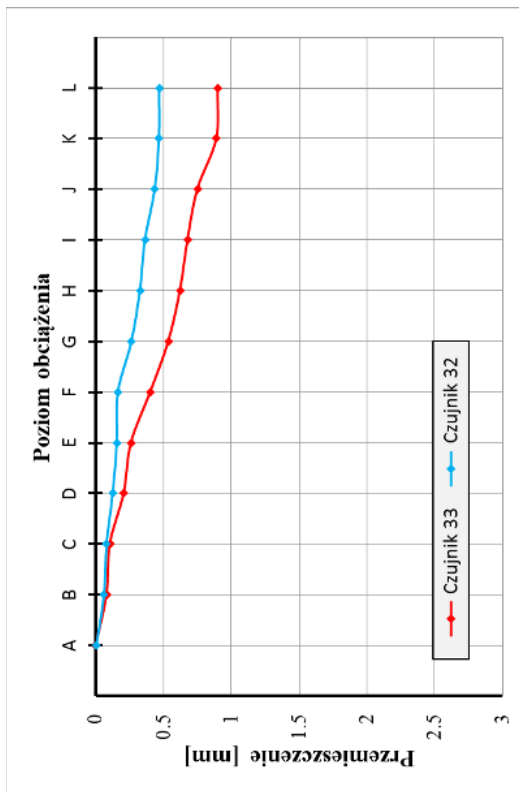
d)



c)

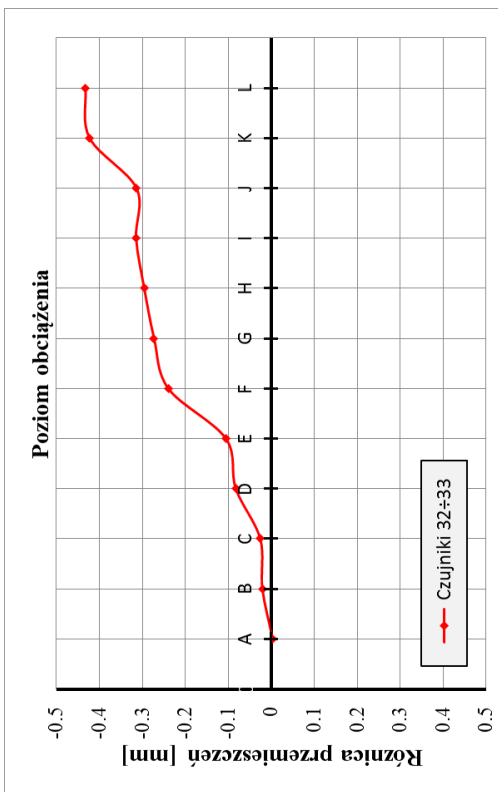
Rys. 36. Czujniki 30 i 31: a) wykres przemieszczeń Model 1, b) wykres przemieszczeń Model 2, c) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami Model 2, d) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami Model 2

b)

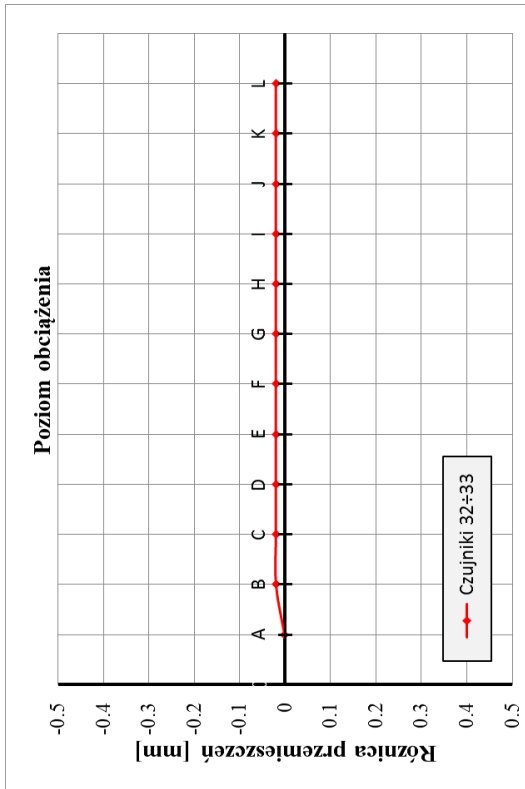
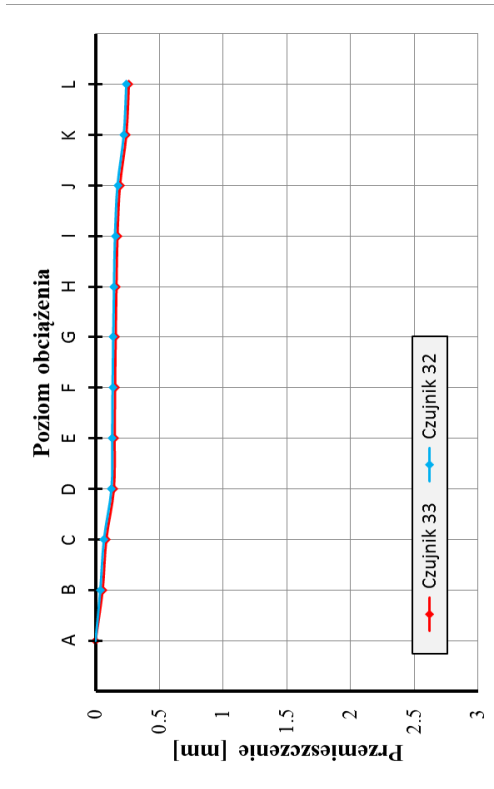


a)

d)



c)

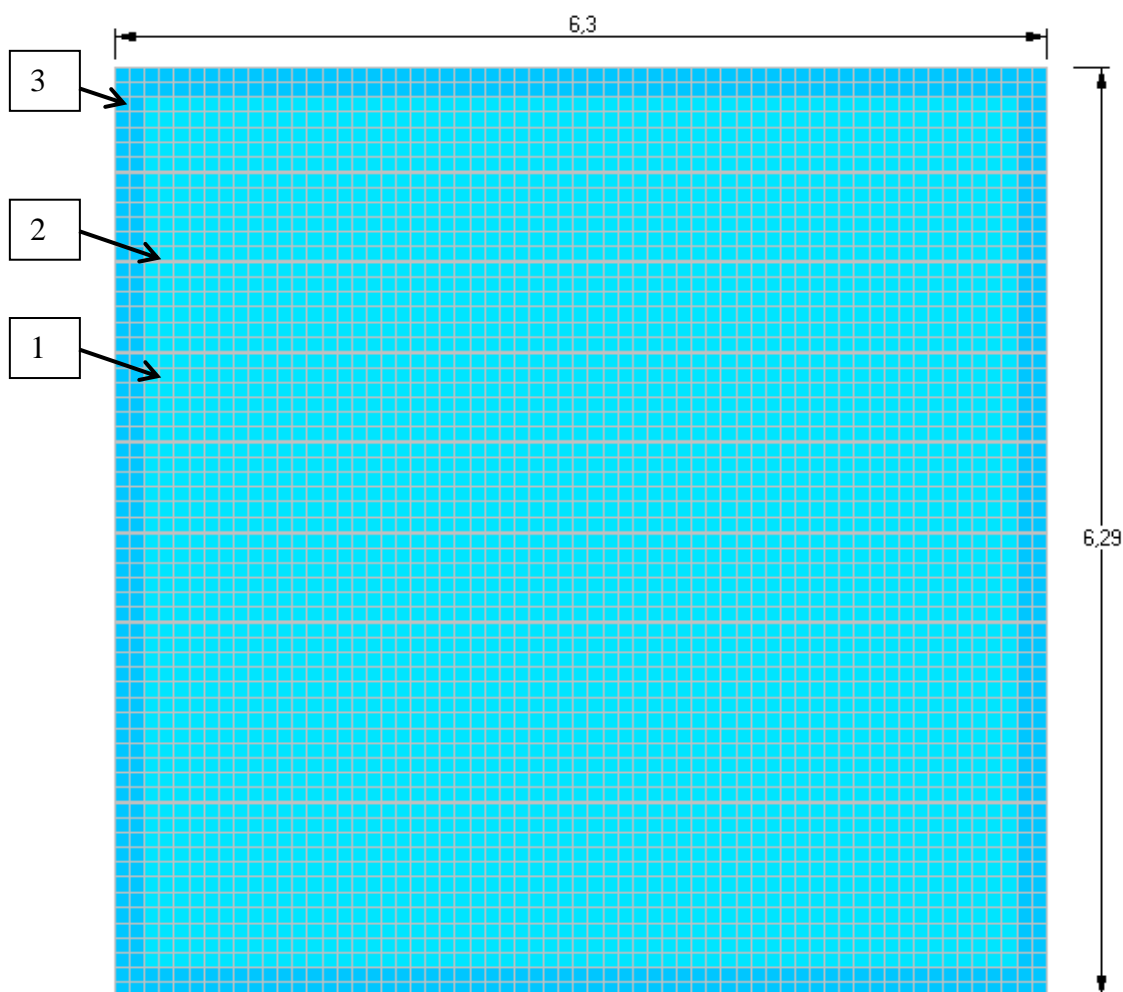


Rys. 37. Czujniki 32 i 33: a) wykres przemieszczeń Model 1, b) wykres przemieszczeń Model 2, c) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami

d) różnica w wartościach pomiędzy czujnikami Model 2

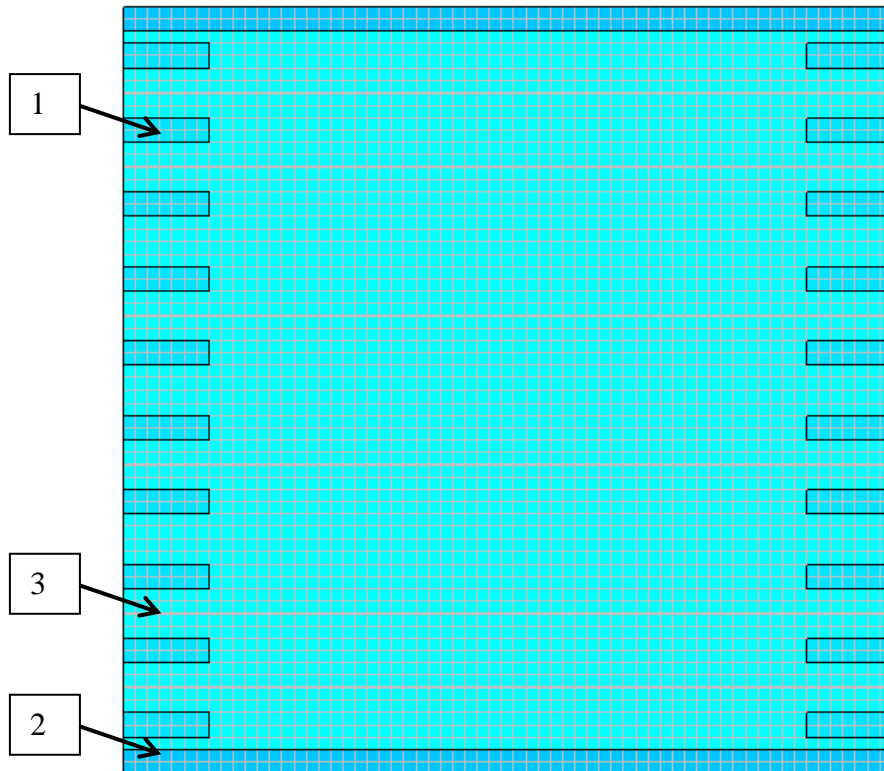
4.2.2 Obliczenia numeryczne

Model numeryczny (rys. 46) w przybliżeniu odzwierciedlający zachowanie się badanych modeli wykonano w programie ABC-Płyta [4]. Zarówno dla Modelu 1 jak i Modelu 2 przyjęto identyczne wymiary geometryczne rzutu $\sim 6,3 \times 6,3$ m, szerokość wieńców 24,0 cm oraz szerokość przerw pomiędzy płytami stropowymi 1,0 cm (rys. 38). Model różniły się natomiast grubością całkowitą stropów: Model 1 $h = 215$ mm, Model 2 $h = 206$ mm. Następnie do obu modeli numerycznych wprowadzono ilość zbrojenia wynikającą z dokumentacji technicznej - rys. 39 ÷ rys. 42.

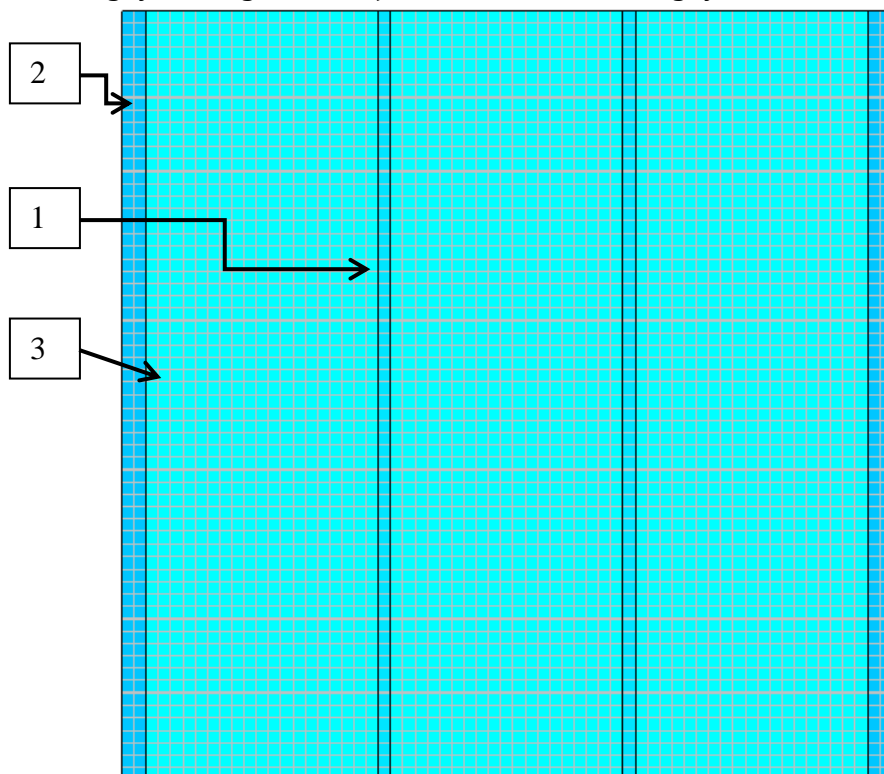


Rys. 38. Geometria modeli numerycznych: (1- płyta stropu Vector II lub Vector III, 2- przerwa dylatacyjna, 3- wieńiec)

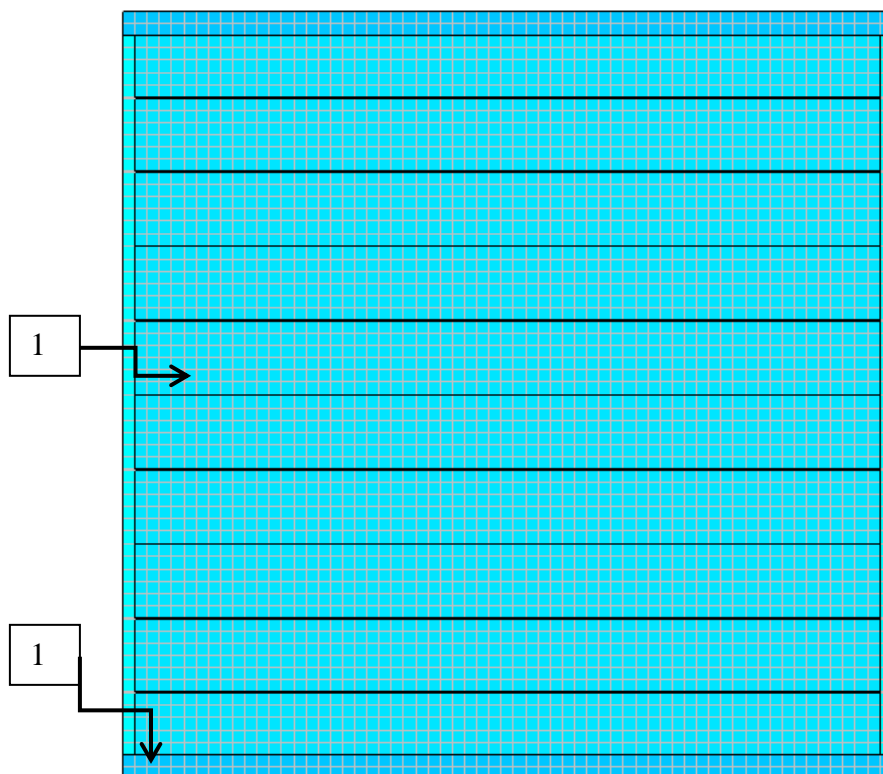
W kolejnym kroku wykonywania modelu numerycznego w programie komputerowym zdefiniowano schematy obciążenia według rys. 8. Na wykonanych analizach obliczeniowych uwzględniono zarysowanie przekroji elementów betonowych.



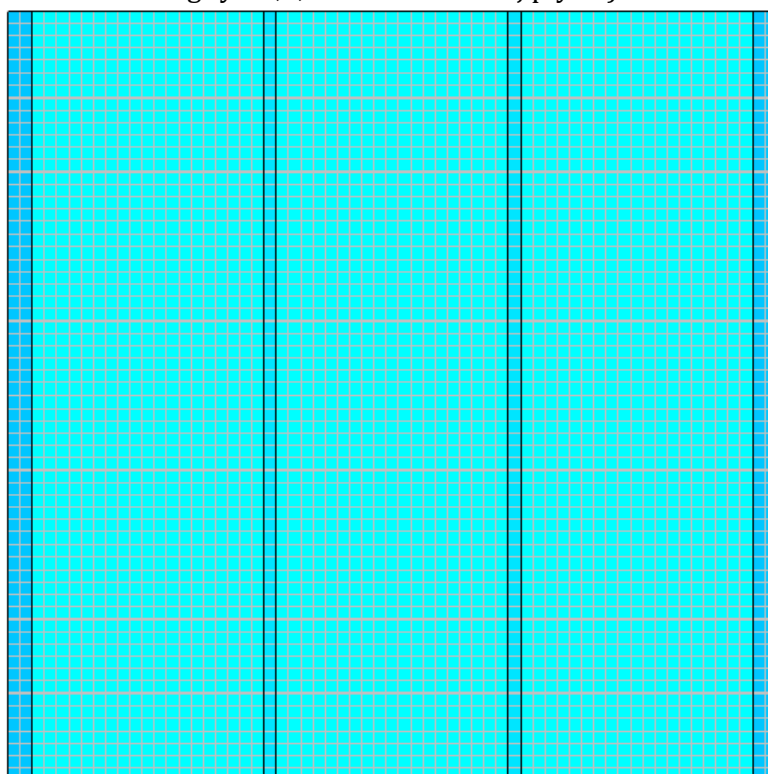
Rys. 39. Rozmieszczenie zbrojenie górne w kierunku X: (1- górne zbrojenie nadpodporowe $1\phi 10$ wg rys. 7, 2- górne zbrojenie wieńcowe $2\phi 12$ wg rys. 7, 3- brak zbrojenia)



Rys. 40. Rozmieszczenie zbrojenie górne w kierunku Y: (1- górne zbrojenie żebra rozdzielczego $1\phi 10$ wg rys. 7, 2- górne zbrojenie wieńcowe $2\phi 12$ wg rys. 7, 3- brak zbrojenia)



Rys. 41. Rozmieszczenie zbrojenie dolne w kierunku X: (1- dolne zbrojenie wieńcowe 2 ϕ 12 wg rys. 7,4, 2- 4 ϕ 12 w każdej płycie)



Rys. 42. Rozmieszczenie zbrojenie dolne w kierunku Y: (1- dolne zbrojenie żebra rozdzielczego 1 ϕ 10 wg rys. 7, 2- dolne zbrojenie wieńcowe 2 ϕ 12 wg rys. 7, 3- brak zbrojenia)

Obliczono ugięcia w obu modelach przy uwzględnieniu możliwości zarysowania elementów żelbetowych, a uzyskane wyniki zamieszczono na rys. 45 ÷ rys. 62. Na każdym z wykresów zamieszczono identyczne oznaczenia krzywych:

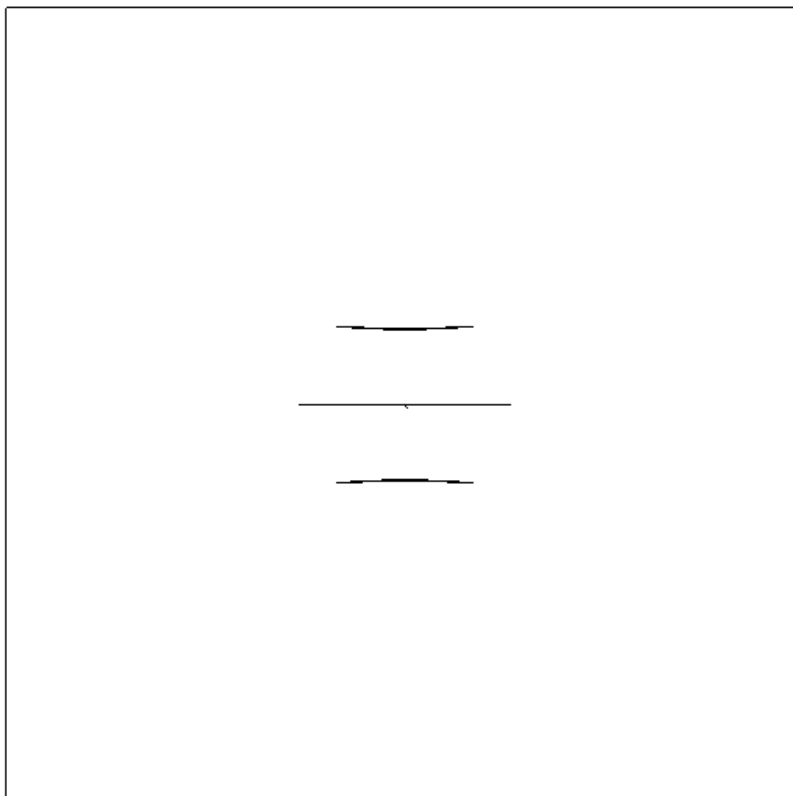
- M1-B – wartości przemieszczeń uzyskane w czasie badań Modelu 1;
- M1-N – wartości przemieszczeń uzyskane z obliczeń numerycznych Modelu 1;
- M2-B – wartości przemieszczeń uzyskane w czasie badań Modelu 2;
- M2-N – wartości przemieszczeń uzyskane z obliczeń numerycznych Modelu 2.

Oprócz analizy przemieszczeń rozważono wielkość oraz zasięg powstałych zarysowań, które wystąpiły w modelach numerycznych. Analizę przeprowadzono dla czterech schematów obciążenia:

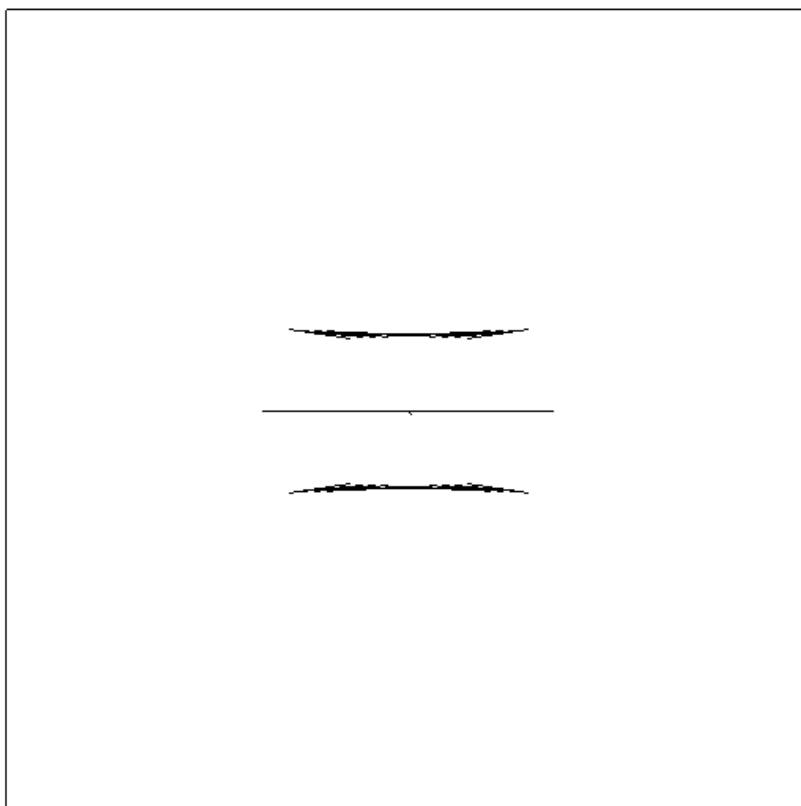
- Schemat A (obciążenie tylko ciężarem własnym) – w modelu numerycznym nie wykryto, żadnych zarysowań.
- Schemat E (do modeli przyłożono jedynie obciążenie charakteryzujące stałą wartość obciążenia ponad ciężar własny stropu o wartości $4,5 \text{ kN/m}^2$) – w modelu numerycznym nie stwierdzono, żadnych zarysowań.
- Schemat J (na całej powierzchni modeli przyłożono pełne obciążenia $4,5 \text{ kN/m}^2$) – na dolnej powierzchni zarówno Modelu 1 jak i Modelu 2 pojawiły się drobne zarysowania wzdłuż styku prefabrykatów o rozwartości $0,1 \text{ mm}$ Model 1 i $0,2 \text{ mm}$ Model 2 (rys. 43). Przy czym zarysowania w Modelu 2 występowały na dłuższych odcinkach.
- Schemat K (połowa modelu obciążenie $7,5 \text{ kN/m}^2$, druga połowa obciążenie $1,4 \text{ kN/m}^2$) – na dolnej powierzchni zarówno Modelu 1 jak i Modelu 2 pojawiły się drobne zarysowania wzdłuż styku prefabrykatów o rozwartości $0,2 \text{ mm}$ Model 1 i $0,3 \text{ mm}$ Model 2 (rys. 44). Przy czym zarysowania w Modelu 2 podobnie jak przy wcześniejszym schemacie obciążenia występowały na dłuższych odcinkach.

Należy podkreślić, że uzyskane wyniki będzie można zweryfikować dopiero po częściowej rozbiórce stropów.

a)

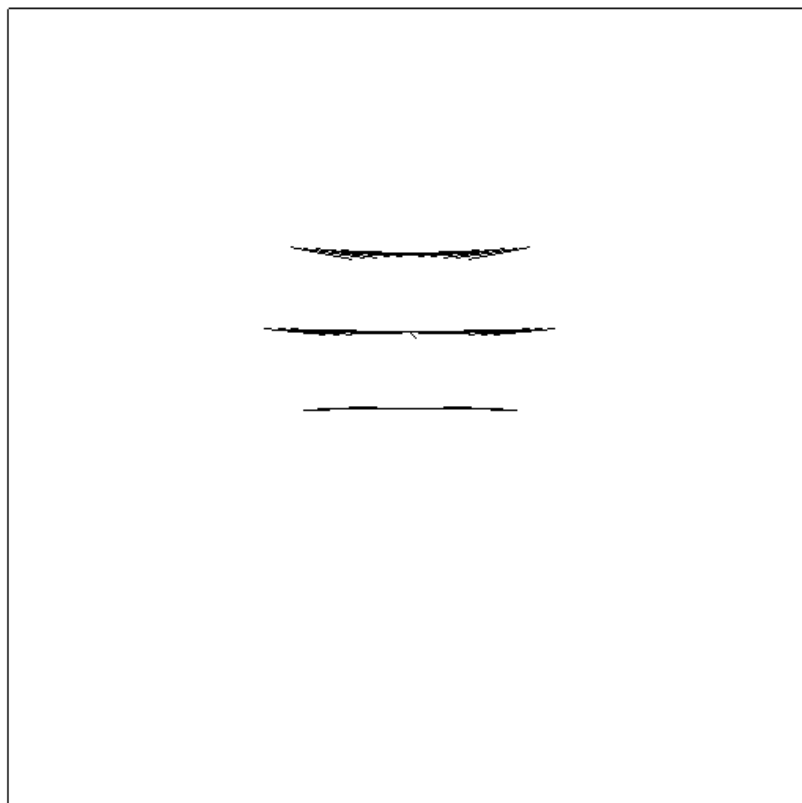


b)

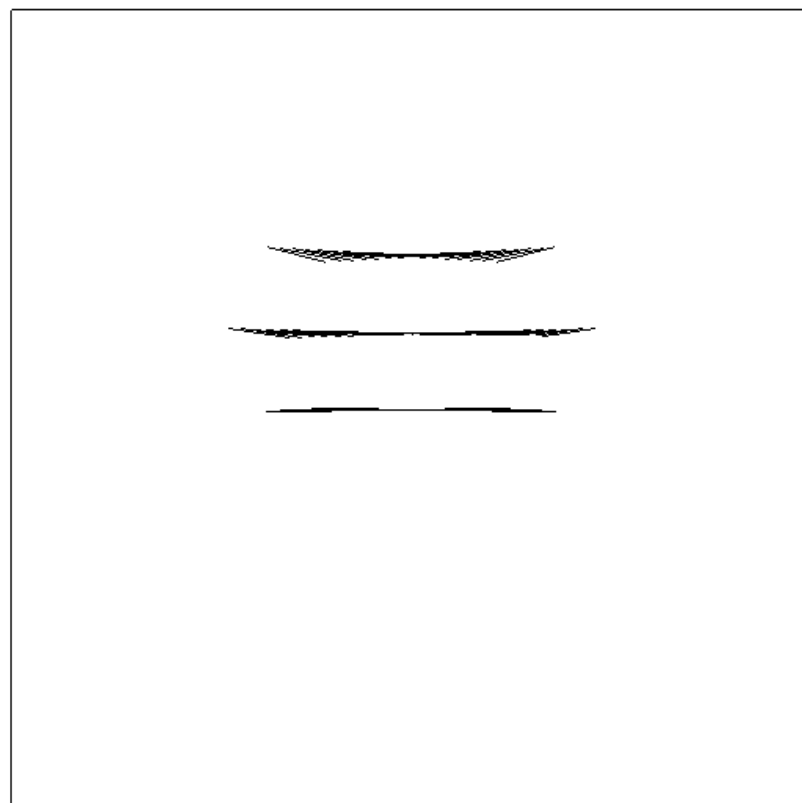


Rys. 43. Obrazy zarysowania dolnej powierzchni Modelu 1 i Modelu 2 – Schemat obciążenia J (na całym modelu przyłożono pełne obciążenia $4,5 \text{ kN/m}^2$): a) Model 1, b) Model 2

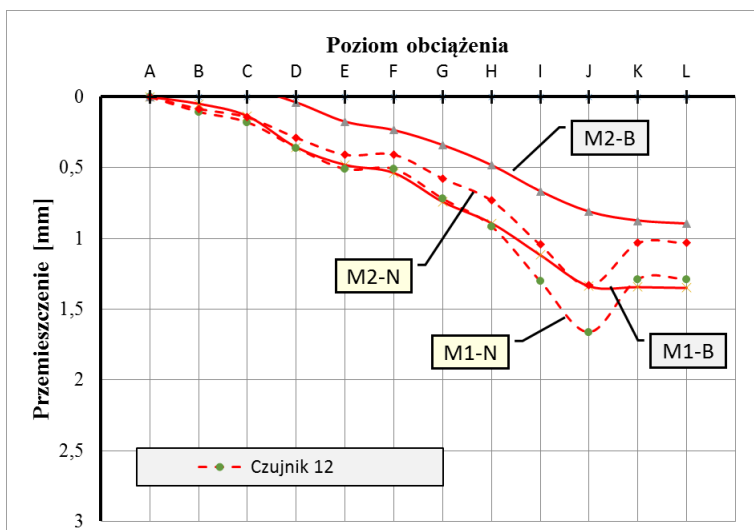
a)



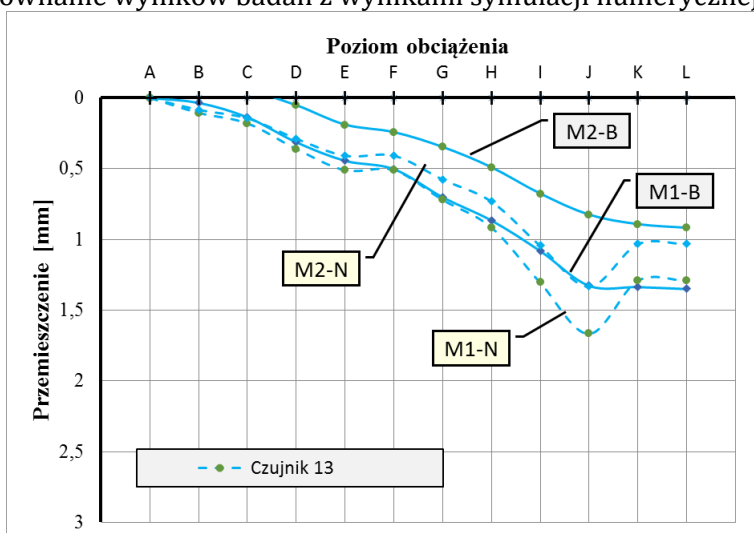
b)



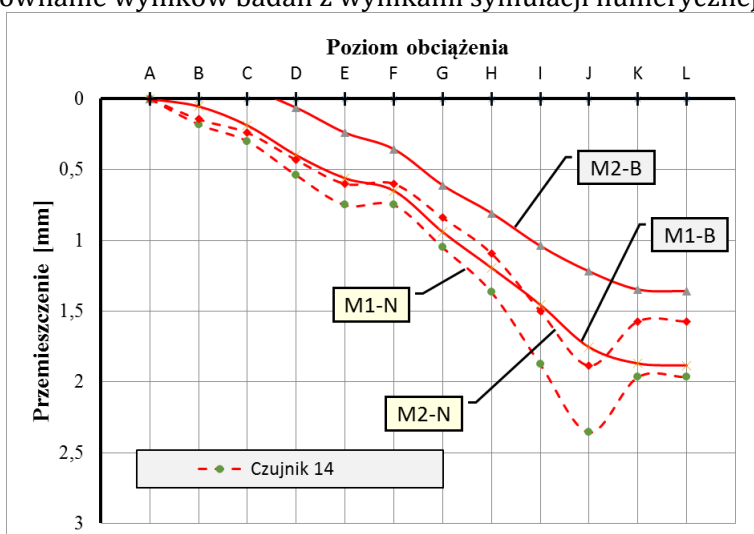
Rys. 44. Obrazy zarysowania dolnej powierzchni Modelu 1 i Modelu 2 – Schemat obciążenia L (połowa modelu obciążenie 7,5 kN/m², druga połowa obciążenie 1,4 kN/m²):
a) Model 1, b) Model 2



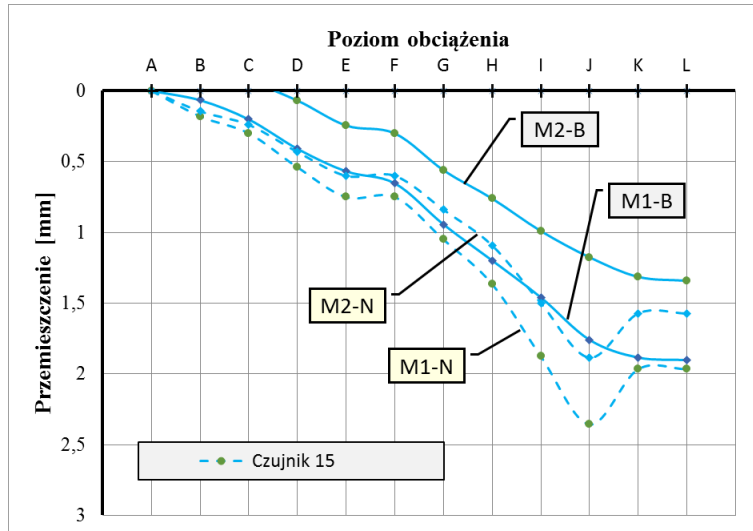
Rys. 45. Porównanie wyników badań z wynikami symulacji numerycznej – Czujnik 12



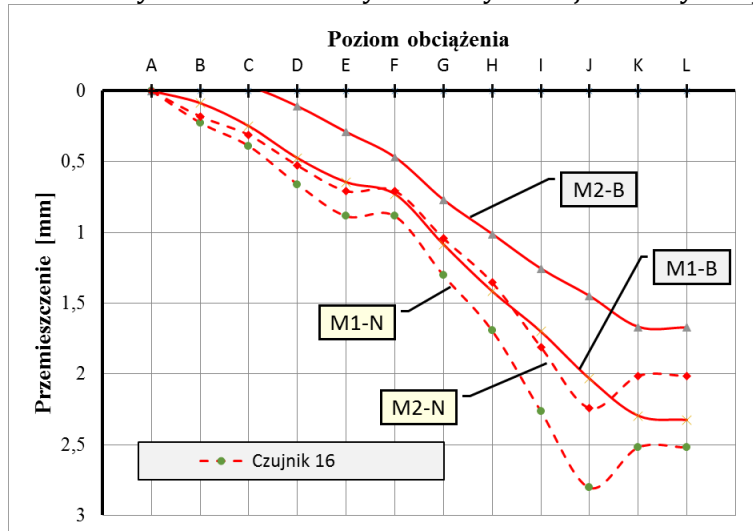
Rys. 46. Porównanie wyników badań z wynikami symulacji numerycznej – Czujnik 13



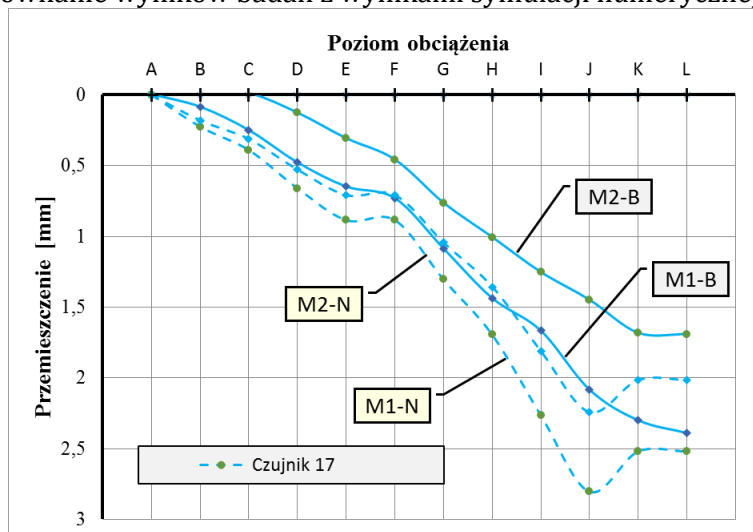
Rys. 47. Porównanie wyników badań z wynikami symulacji numerycznej – Czujnik 14



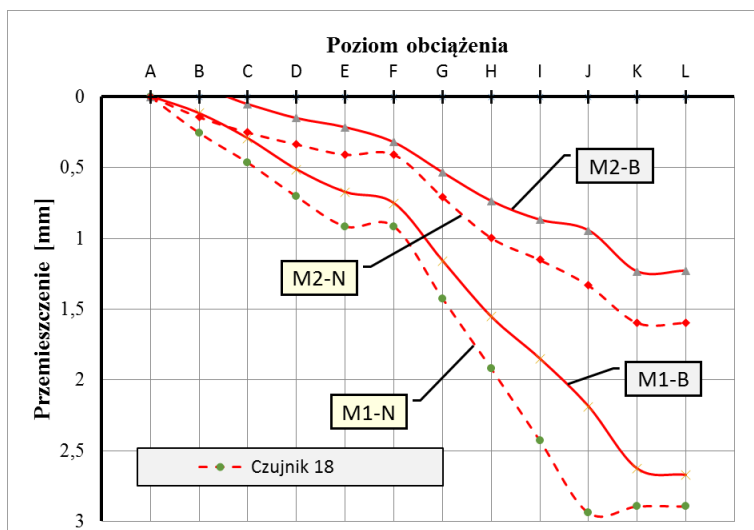
Rys. 48. Porównanie wyników badań z wynikami symulacji numerycznej – Czujnik 15



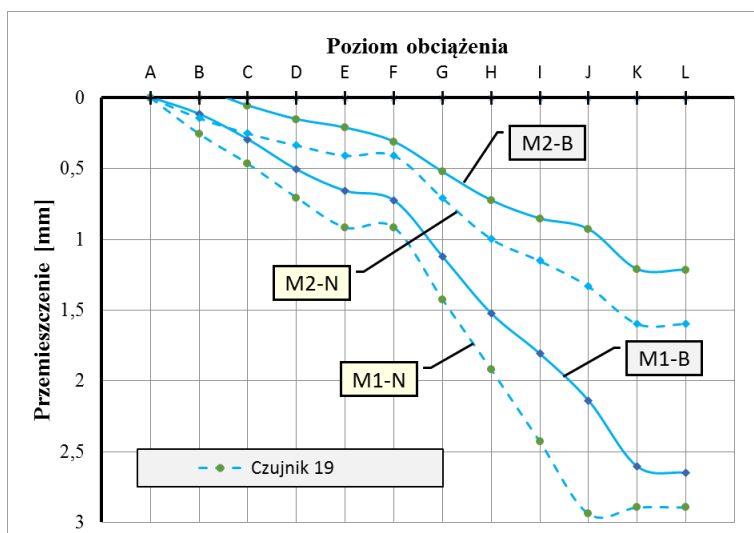
Rys. 49. Porównanie wyników badań z wynikami symulacji numerycznej – Czujnik 16



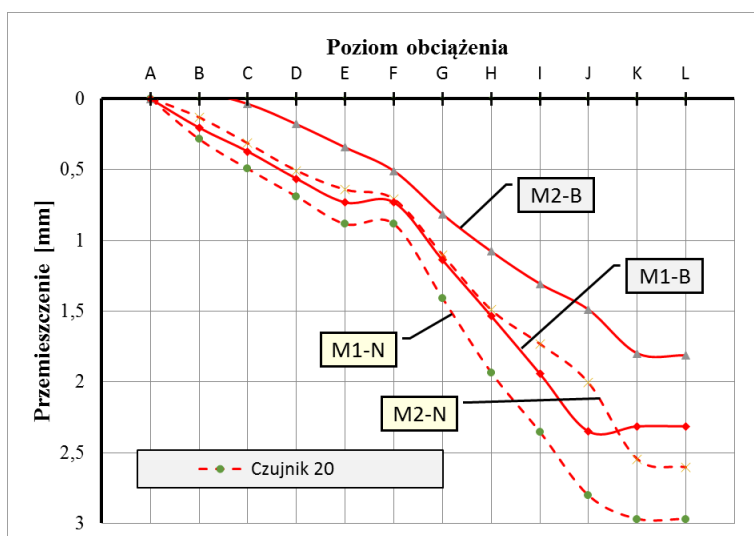
Rys. 50. Porównanie wyników badań z wynikami symulacji numerycznej – Czujnik 17



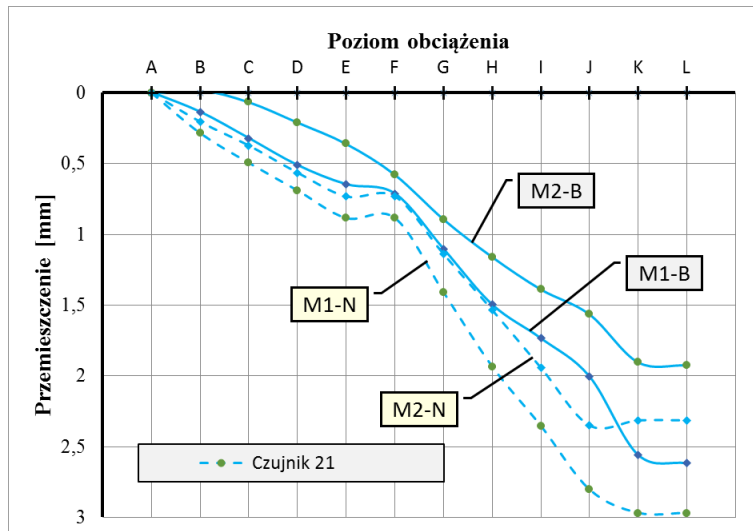
Rys. 51. Porównanie wyników badań z wynikami symulacji numerycznej – Czujnik 18



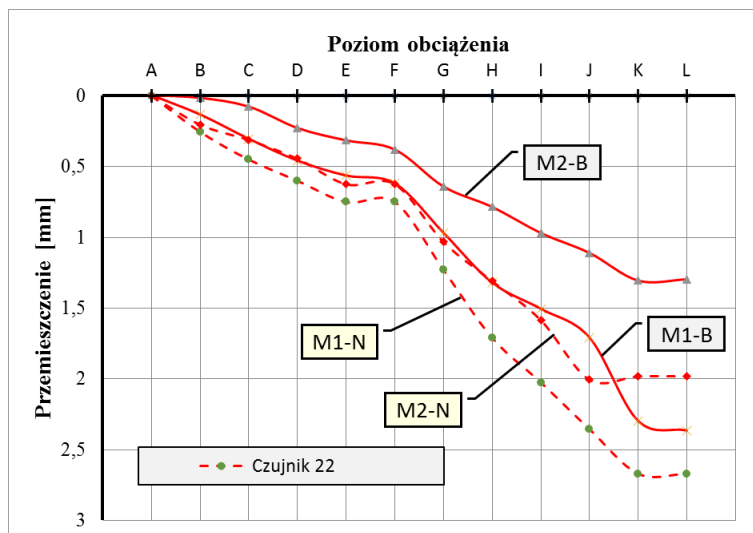
Rys. 52. Porównanie wyników badań z wynikami symulacji numerycznej – Czujnik 19



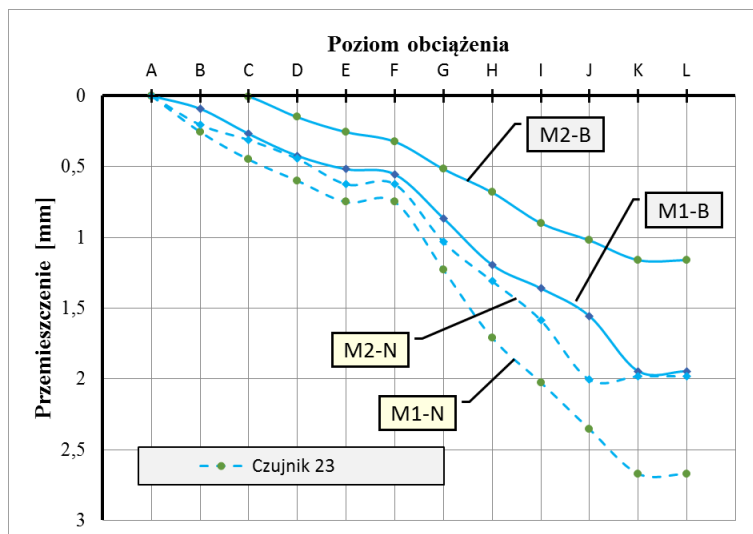
Rys. 53. Porównanie wyników badań z wynikami symulacji numerycznej – Czujnik 20



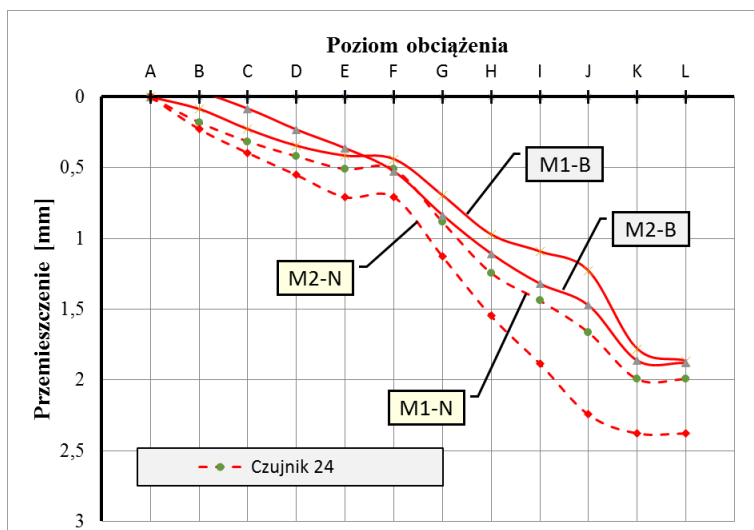
Rys. 54. Porównanie wyników badań z wynikami symulacji numerycznej – Czujnik 21



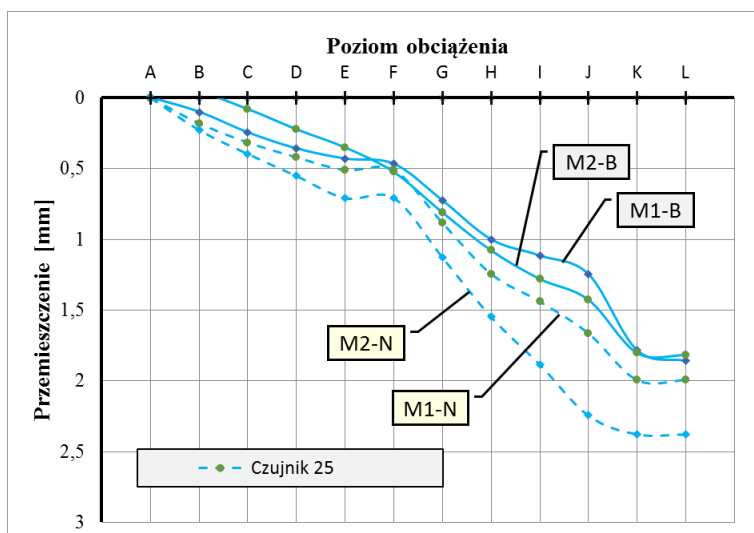
Rys. 55. Porównanie wyników badań z wynikami symulacji numerycznej – Czujnik 22



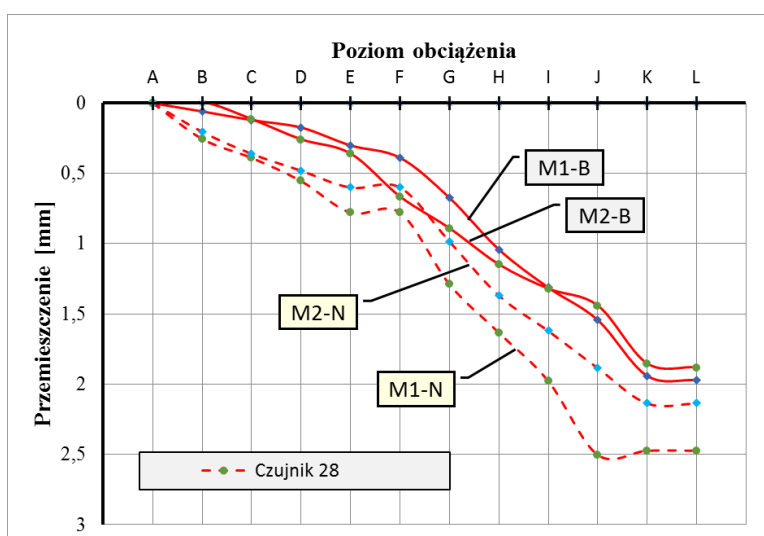
Rys. 56. Porównanie wyników badań z wynikami symulacji numerycznej – Czujnik 23



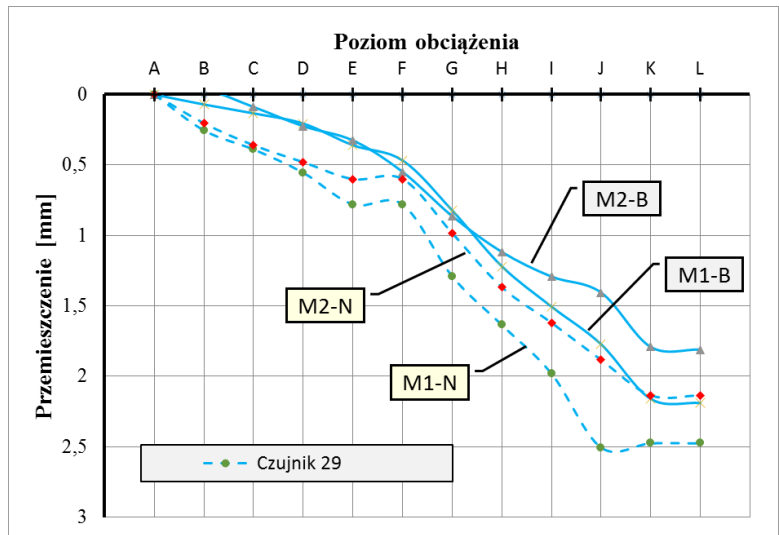
Rys. 57. Porównanie wyników badań z wynikami symulacji numerycznej – Czujnik 24



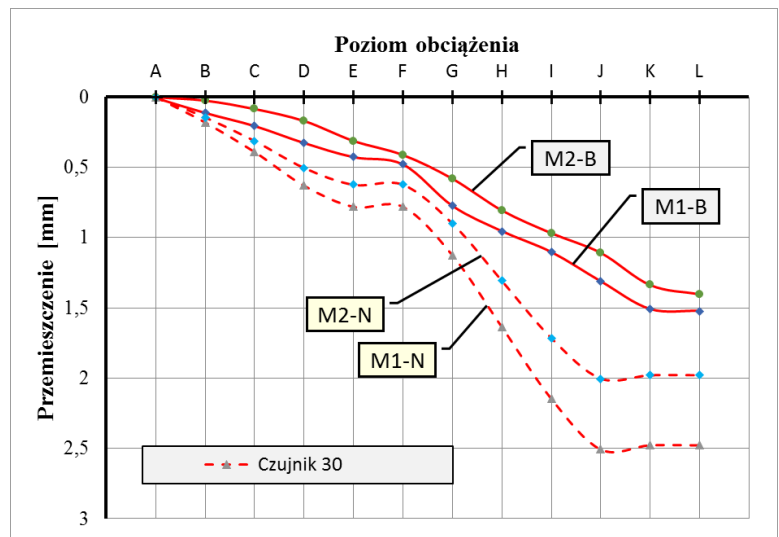
Rys. 58. Porównanie wyników badań z wynikami symulacji numerycznej – Czujnik 25



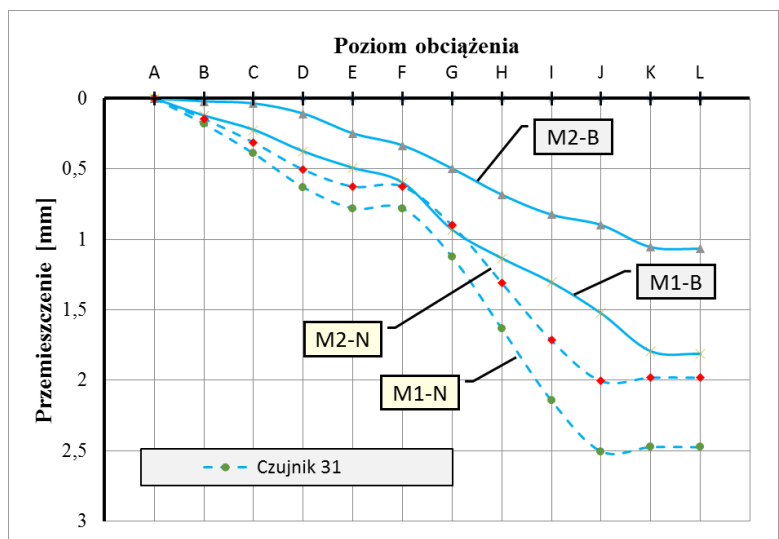
Rys. 59. Porównanie wyników badań z wynikami symulacji numerycznej – Czujnik 28



Rys. 60. Porównanie wyników badań z wynikami symulacji numerycznej – Czujnik 29



Rys. 61. Porównanie wyników badań z wynikami symulacji numerycznej – Czujnik 30



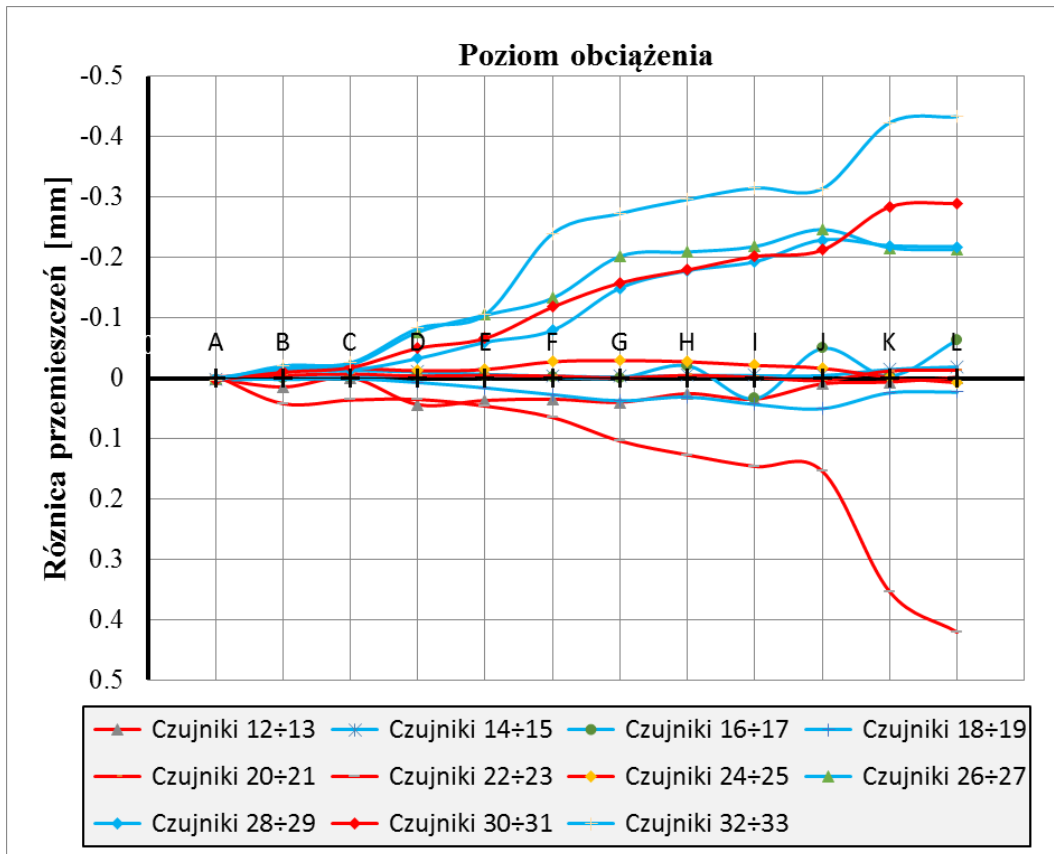
Rys. 62. Porównanie wyników badań z wynikami symulacji numerycznej – Czujnik 31

4.3 Wnioski z badań

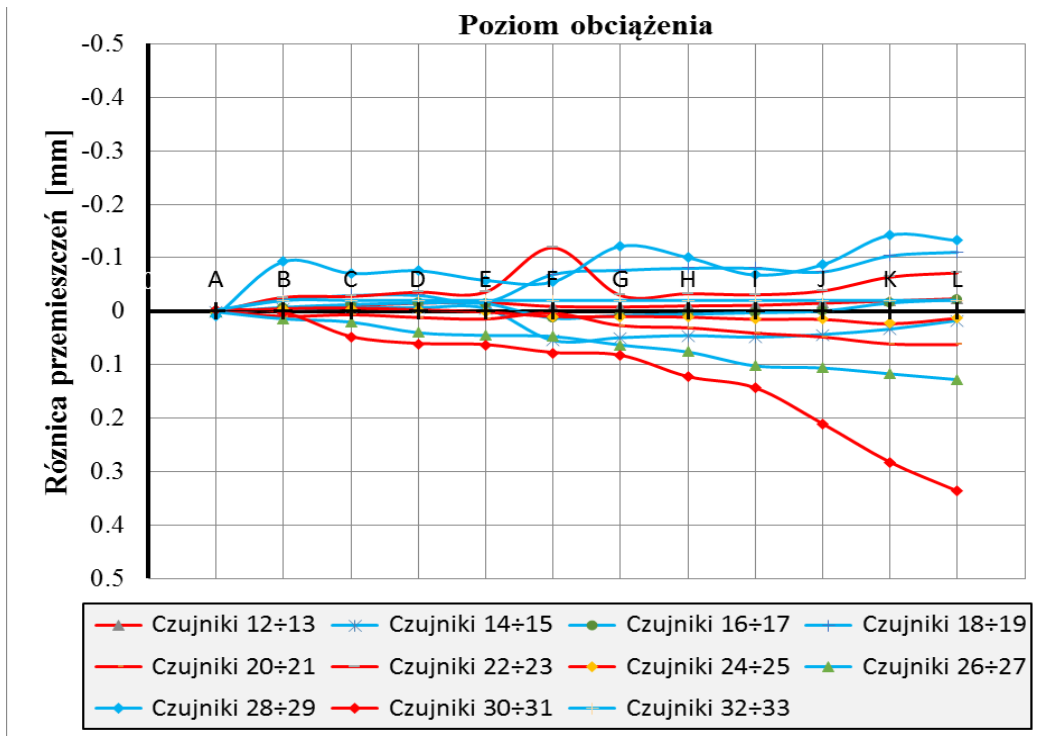
Na podstawie przeprowadzonych w czasie badań obserwacji i pomiarów można stwierdzić, że:

- 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 w przypadku Modelu 1 (rys. 63a) i 0,35 mm w przypadku Modelu 2 (rys. 63b). Przemieszczenie takie nie są przyczyną powstawania rys na wykończeniowych elementach stropów lub uszkodzeń zabudowanych instalacji,
- przy obciążeniu doraźnym 4,5 kN/m² w Modelu 1 przemieszczenie środka stropu wynosiło 1,526 mm, co odpowiada ugięciu względnemu rzędu 1/3930 rozpiętości L (przy dopuszczalnym 1/300 L),
- w przypadku Modelu 2, przy doraźnym obciążeniu 4,5 kN/m², uzyskano przemieszczenie środka stropu równe 2,165 mm, co stanowi 1/2770 rozpiętości L (przy dopuszczalnym 1/300 L),
- obserwacja zarysowań dolnych powierzchni Modelu 1 i Modelu 2 wykazała, że pod wpływem obciążenia równego lub przekraczającego obliczeniowe wartości projektowe w obydwu modelach powstały niewielkie zarysowania o podobnej intensywności (rys. 24 i rys. 25).
- Porównując wyniki obliczeń numerycznych z wynikami badań doświadczalnych, można zauważyć bardzo dobre zgodności, co potwierdza, że badane stropy praktycznie pracowały w fazie sprężystej.
- Uzyskane w modelach numerycznych zarysowania mają również niewielkie wartości, a jak wspomniano wcześniej ich rzeczywiste występowanie będzie można określić dopiero po częściowym rozkuciu dolnych części stropów.

a)



b)



Rys. 63. Zbiorcze zestawienie różnic pomiędzy parami czujników: a) Model 1, b) Model 2

5 Podsumowanie

Reasumując stwierdzić należy, że **badane modele z zabudowanymi stropami Vector nie wykazały żadnych niepokojących objawów świadczących o przekroczeniu stanów granicznych nośności i użytkowości nawet przy obciążeniach większych od projektowanych.** Zarówno w wykonanych badaniach pod obciążeniami doraźnymi, jak i przy trwających obciążeniach długotrwałych **uzyskano znaczne zapasy bezpieczeństwa w ujęciu stanów granicznych.** Na tym etapie badań **konstrukcje stropów Vector uznać należy za bezpieczne, spełniające wymagania aktualnych norm projektowania.**

6 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] Drobiec Ł: Stropy Vector. Koncepcja, kształtowanie, obliczanie, wykonawstwo. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2018.
- [4] Grajek K., Starosolski W. Nowa edycja programu ABC - Płyta do projektowania stropów żelbetowych i fundamentów. Inżynieria i Budownictwo, 1995, nr 2 str. 77-80



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 260 publikacji, w tym 14 książek i monografii. Rzeczoznawca budowlany o specjalności konstrukcje budowlane do kierowania robotami budowlanymi i projektowania w nieograniczonym zakresie. W ramach działalności inżynierskiej brał udział w sporządzaniu ponad 400 ekspertyz, 150 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. Mirosław Wiczorek

W roku 2006 ukończył z wyróżnieniem studia na Wydziale Budownictwa Politechniki Śląskiej w specjalności Konstrukcje Budowlane i. W roku 2012 obronił z wyróżnieniem pracę doktorską. Jest autorem lub współautorem ponad 110 publikacji, w tym artykułów w czasopiśmie krajowych i zagranicznych, rozdziałów w monografiach, biuletynów badawczych oraz referatów na krajowych i zagranicznych konferencjach. Uczestniczył w procesach recenzyjnych dla renomowanych wydawnictw zagranicznych Elsevier Ltd oraz Trans Tech Publications Ltd. Od 2008 członek gliwickiego oddziału PZITB. Współautor ponad 50 opracowań o charakterze ekspertyzowym i projektów wzmocnień obiektów budowlanych. Do głównych zainteresowań badawczych należą rozwiązania konstrukcyjne, analizy numeryczne i rozważania teoretyczne stropów monolitycznych oraz prefabrykowanych ze szczególnym uwzględnieniem sytuacji awaryjnych.