

Jan MIKOŚ, Albin LOSKA,
Jan KOWAL, Janusz KAJRUNAJTYS

ŚCIANA PASMOWA I JEJ ODKSZTAŁCALNOŚĆ TERMICZNA

Streszczenie. Referat zawiera wyniki badań własnych nad pracę termiczną elementu betonowego wielowarstwowej ściany pasmowej systemu W-70/PRAS-BET oraz analizę wpływu odkształceń termicznych na konstrukcję elementu i jego połączeń. Badania przeprowadzono na elemencie o długości 6000 mm przy zróżnicowanych całodobowych cyklach temperatur zmieniających się wg założonych przebiegów odpowiadających warunkom silnego nasłonecznienia w okresie lata.

1. Uwagi wstępne

Problem prefabrykowanych warstwowych przegród zewnętrznych, jak wykazuje praktyka, jest złożony i nie rozwiązany. Występujące często pęknięcia faktur, przewiewanie, przeciekanie oraz przemarzanie są nie tylko następstwem niskiej jakości wykonania ścian i ich złączy, ale przyczyn należy szukać również w zjawiskach fizycznych niedocenianych przy projektowaniu warstwowych przegród zewnętrznych.

W celu określenia wpływu czynników fizycznych i technologicznych na kształt złączy i ich szczelność w Instytucie Technologii i Organizacji Budownictwa została podjęta przez mgr inż. Albina Loskę praca doktorska. W tym celu zostało opracowane i wykonane stanowisko badawcze, na którym będzie można badać szczelność złączy przy rozdzielnie i łącznie działających czynnikach klimatu i przy różnej konstrukcji złączy oraz różnym ich uszczelnieniu.

Jednym z istotnych czynników działających na nieszczelność złączy jest odkształcalność termiczna elementów. W przedmiotowym referacie przedstawiono badania odkształcalności termicznej ścian pasmowych systemu PRAS-BET.

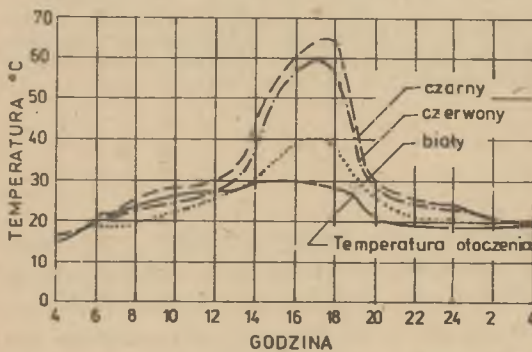
Ściany pasmowa systemu PRAS-BET, podobnie jak inne ściany wielowarstwowe w tym systemie, scalane są metalowymi łącznikami z dwu oddzielnie wykonanych tarcz - konstrukcyjnej i fakturowej, przedzielonych warstwą izolacji termicznej.

Łączników scalających jest mniej, lecz są one bardziej sztywne niż w ścianach wielowarstwowych, formowanych w technice wibracyjnej. Stąd konieczność zbadania ich wpływu na pracę termiczną elementu. Zaprojektowano i wypróbowano technologiczność montażową kilku rodzajów łączników (rys.

3a-3d), a ostatni z nich poddano badaniom w cyklicznie odkształcalnym termicznie, scalonym elemencie pasmowym.

2. Praca termiczna elementów ściany pasmowej

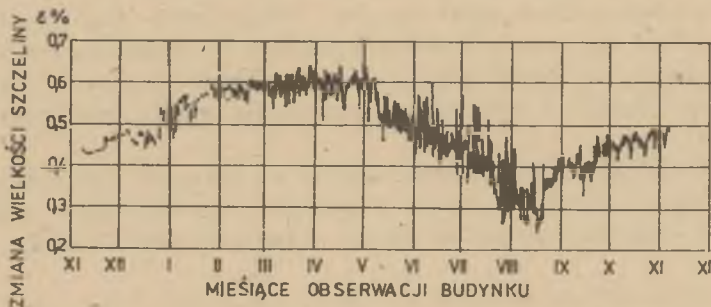
Temperatura zewnętrznej powierzchni ściany zależy od wielu czynników, a w szczególności od orientacji i ekspozycji budynku, jego wysokości i długości oraz materiału, struktury i koloru płyt ściennych. W polskich warunkach klimatycznych może się ona zmieniać od około -20°C do $+45^{\circ}\text{C}$ i więcej. Badania zmian temperatury ścian w zależności od jej koloru były prowadzone m.in. w Instytucie Fizyki w Stuttgarcie (rys. 1).



Rys. 1. Zmiana temperatury ścian w zależności od jej koloru

Odkształcenia termiczne elementów prefabrykowanych ścian zewnętrznych powodują zmiany szerokości szczelin w złączach, mając wpływ na ich szczelność, co było przedmiotem badań prowadzonych w Szwecji (rys.2).

Siły spowodowane odkształceniami termicznymi oddziałują też na złącza ściany zewnętrznej z konstrukcją budynku oraz w przypadku ścian wielowar-



Rys. 2. Zmiana wielkości szczeliny w złączach w zależności od miesiący obserwacji

stwowych na łączniki zespalające poszczególne warstwy. Wielkość wydłużeń można obliczać z zależności:

$$\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

gdzie

α - współczynnik rozszerzalności termicznej,

Δl - długość płyty,

Δt - różnica średnich temperatur.

Jeżeli płycie fakturowej nie zapewni się swobody przemieszczeń, mogą powstać w niej naprężenia o wartości:

$$\sigma = \frac{\Delta l}{l} \cdot E = \alpha \cdot \Delta t \cdot E,$$

gdzie:

E - moduł sprężystości materiału płyty.

Przykładowo, betonowa płyta fakturowa ściany wielowarstwowej o długości 600 cm i grubości 6 cm oraz wysokości 150 cm przy podwyższeniu jej temperatury o 40°C doznałaby wydłużenia:

$$\Delta l = 600 \cdot 0,00012 \cdot 40 = 0,288 \text{ cm.}$$

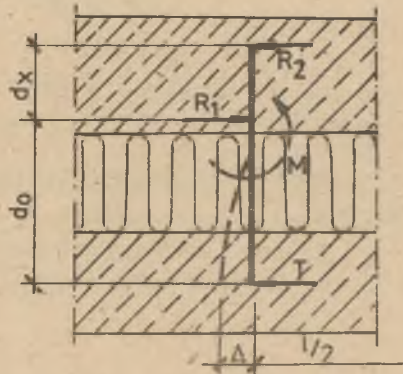
W przypadku braku swobody przemieszczeń naprężenia ściskające w płycie wyniosą:

$$\sigma = \frac{0,288}{600} \cdot 180000 = 86,4 \text{ kg/cm}^2 = 8,47 \text{ MPa.}$$

3. Naprężenia w elementach łączących, powstałe pod wpływem temperatury



Rys. 3. Warianty łączników scalających w ścianach zewnętrznych systemu PRAS-BET



Rys. 4. Schemat rozkładu sił w łączniku scalającym

Warstwa fakturowa w elemencie pałmowym W70 PRAS-BET zawieszona jest na łącznikach scalających (rys. 3) rozmieszczonych w dwóch poziomych szere-

gach. Przy elementach o długości 600 cm w każdym szeregu występują po cztery łączniki (rys. 5). Zakładając utwierdzenie śruby łącznika w warstwie konstrukcyjnej (rys. 4) można określić siły wewnętrzne powstałe w śrubie wskutek wydłużenia się warstwy fakturowej:

$$R_2 = \frac{T \cdot d_0}{d_x}; \quad R_1 = T \left(1 + \frac{d_0}{d_x}\right); \quad M = T \cdot d_0.$$

Wartość sił T można obliczyć znając wielkość przemieszczenia płyty fakturowej względem konstrukcyjnej w miejscu, śrub i zakładając swobodę jej odkształceń (rys. 5):



Rys. 5. Rozmieszczenie w dwóch szeregach łączników i schematy podparcia

$$\Delta l_2 = \alpha_f \cdot l_2 \quad \Delta t \quad \frac{\Delta l_2}{2} = \frac{T_2 \cdot d_0^3}{3EJ}$$

gdzie:

J - moment bezwładności przekroju śruby lub śrub;

stąd:

$$T_2 = \frac{3EJ\Delta l_2}{2d_0^3}$$

$$T_1 = T_2 \cdot \frac{l_1 + 0,5 l_2}{0,5 l_2}$$

Przykładowo dla badanego elementu i danych:

$$l = 600 \text{ cm}$$

$$l_1 = l_2 = 150 \text{ cm}$$

D - średnica śruby = 2 cm

$$\Delta t = 40^\circ\text{C}$$

$$d_o = 9 \text{ cm}$$

$$d_x = 3 \text{ cm}$$

$$\alpha_f = 0,12 \cdot 10^{-4} \text{ (} 1^\circ\text{C)}$$

$$E_s = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kG/cm}^2$$

$$E_b = 1,8 \cdot 10^5 \text{ kG/cm}^2$$

siły działające na jedną śrubę wynoszą:

$$\Delta l_2 = 0,12 \cdot 10^{-4} \cdot 150 \cdot 40 = 0,072 \text{ cm},$$

$$T_2 = \frac{3 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 0,05 \cdot 2^4 \cdot 0,072}{2 \cdot 2 \cdot 9^3} = 125 \text{ kG} = 1226 \text{ N},$$

$$T_1 = 125 \cdot \frac{150 + 0,5 \cdot 150}{0,5 \cdot 150} = 375 \text{ kG} = 3676 \text{ N},$$

stąd naprężenia w śrubach:

$$\sigma_2 = \frac{125 \cdot 9}{0,1 \cdot 2^3} = 1406 \text{ kG/cm}^2 = 139,79 \text{ MPa},$$

$$\sigma_1 = \frac{375 \cdot 9}{0,1 \cdot 2^3} = 4128 \text{ kG/cm}^2 = 413,36 \text{ MPa}.$$

Z przytoczonych obliczeń wynika, że w przypadku utwierdzenia śrub w warstwie konstrukcyjnej, naprężenia powstające w śrubie przekroczą dopuszczalne.

Konstrukcja łączników scalających powinna zatem zapewniać niezbędny stopień swobody przemieszczeń warstwy fakturowej względem konstrukcyjnej, co uwzględniono w konstrukcji stosowanych i badanych łączników (rys. 3).

Przedstawione dalej badanie miało na celu zweryfikowanie przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych łączników.

4. Program i metoda badań

Badany element ściany pasmowej o wymiarach 600 cm długości i 150 cm wysokości zamocowano na dwóch metalowych stojakach w taki sposób, że warstwa konstrukcyjna była w dolnej części swobodnie podparta, a w górnej przytrzymana w pozycji pionowej. Warstwę fakturową miała swobodę odkształ-

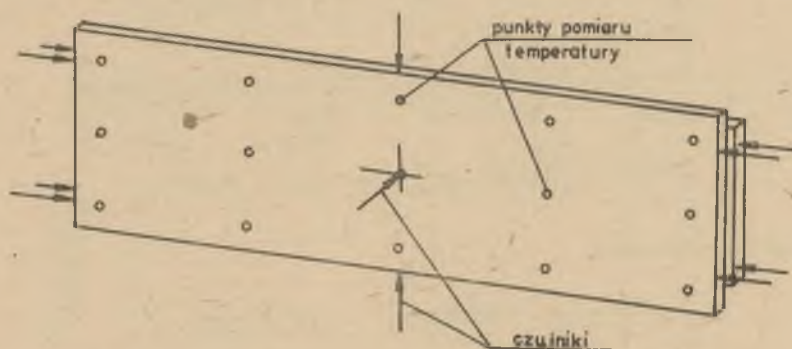
ceń ograniczoną jedynie przez łączniki scalające ją z warstwą konstrukcyjną.

Jako źródło ciepła ustawiono ekran złożony z 58 promienników podczerwieni o łącznej mocy 14,5 kW, oddalonych o 25 cm od powierzchni licowej warstwy fakturowej.

Element posiadał ustalone punkty kontroli temperatury warstwy fakturowej od strony licowej oraz od strony izolacji termicznej. Temperaturę mierzono za pomocą multimetru V 640 z sondą pomiarową. Łączna liczba punktów pomiaru temperatury - 33.

Do pomiaru zmian geometrycznych warstwy fakturowej względem konstrukcyjnej i warstwy konstrukcyjnej względem punktów stałych stosowano czujniki zegarowe o dokładności 0,001 mm. Liczba punktów pomiarowych - 11.

Lokalizację punktów pomiarowych przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Rozmieszczenie punktów pomiarowych temperatury

W badaniach przyjęto półdobowy cykl grzania od temperatury początkowej rzędu 16°C do wartości około 80°C . Po uzyskaniu żądanej temperatury ogrzewanie zostało wyłączone i następował samodzielnny cykl obniżania temperatury do temperatury otoczenia. W każdym cyklu co godzinę od 8^{oo} do 15^{oo} oraz o 18^{oo} i 21^{oo} notowane były zmiany temperatury w ustalonych punktach oraz zmiany geometryczne. Wykonano łącznie 7 pełnych cykli grzania i studzenia w dniach od 5 do 13.VII.1977 r.

5. Wyniki badań

5.1. Przebieg zmian temperatury

Temperatury lica warstwy fakturowej osiągnięte w czasie nagrzewu (średnia z siedmiu cykli) przedstawiono na rysunku 7.

W nawiasach podano temperatury na powierzchni warstwy fakturowej od strony izolacji termicznej (mierzone sondą przez otwory wywiercone w war-



Rys. 7. Rozkład temperatur w warstwie fakturowej

stwie konstrukcyjnej). Temperatura otoczenia oraz temperatura tylnej powierzchni warstwy konstrukcyjnej zmieniały się od 16°C na początku każdego cyklu do 22°C w momencie przerwania nagrzewu. Nie uniknięto pewnych nierównomierności w nagrzaniu elementu. Na podstawie analizy zmian temperatury w poszczególnych punktach i kolejnych cyklach nagrzewu oraz obserwacji makroskopowych stwierdzono:

- dzienny przyrost temperatury powierzchni licowej warstwy fakturowej wynosił średnio 44°C, a od strony izolacji termicznej 53°C;
- w każdym cyklu początkowo wyższa była temperatura powierzchni licowej warstwy fakturowej, po upływie 3-5 godzin następowało wyrównanie temperatur w przekroju, a następnie szybciej wzrastała temperatura od strony izolacji termicznej (np. rys. 8);
- wraz ze wzrostem temperatury obserwowano na płaszczyźnie licowej warstwy fakturowej siatkę mikroryś skurczowych, które zanikały po ozięgnięciu elementu.

5.2. Z m i a n y g e o m e t r y c z n e

Podczas ogrzewania płyta fakturowa uległa wydłużeniu zgodnie z polem temperatur, przy czym w kolejnych cyklach wydłużenia te systematycznie rosły:

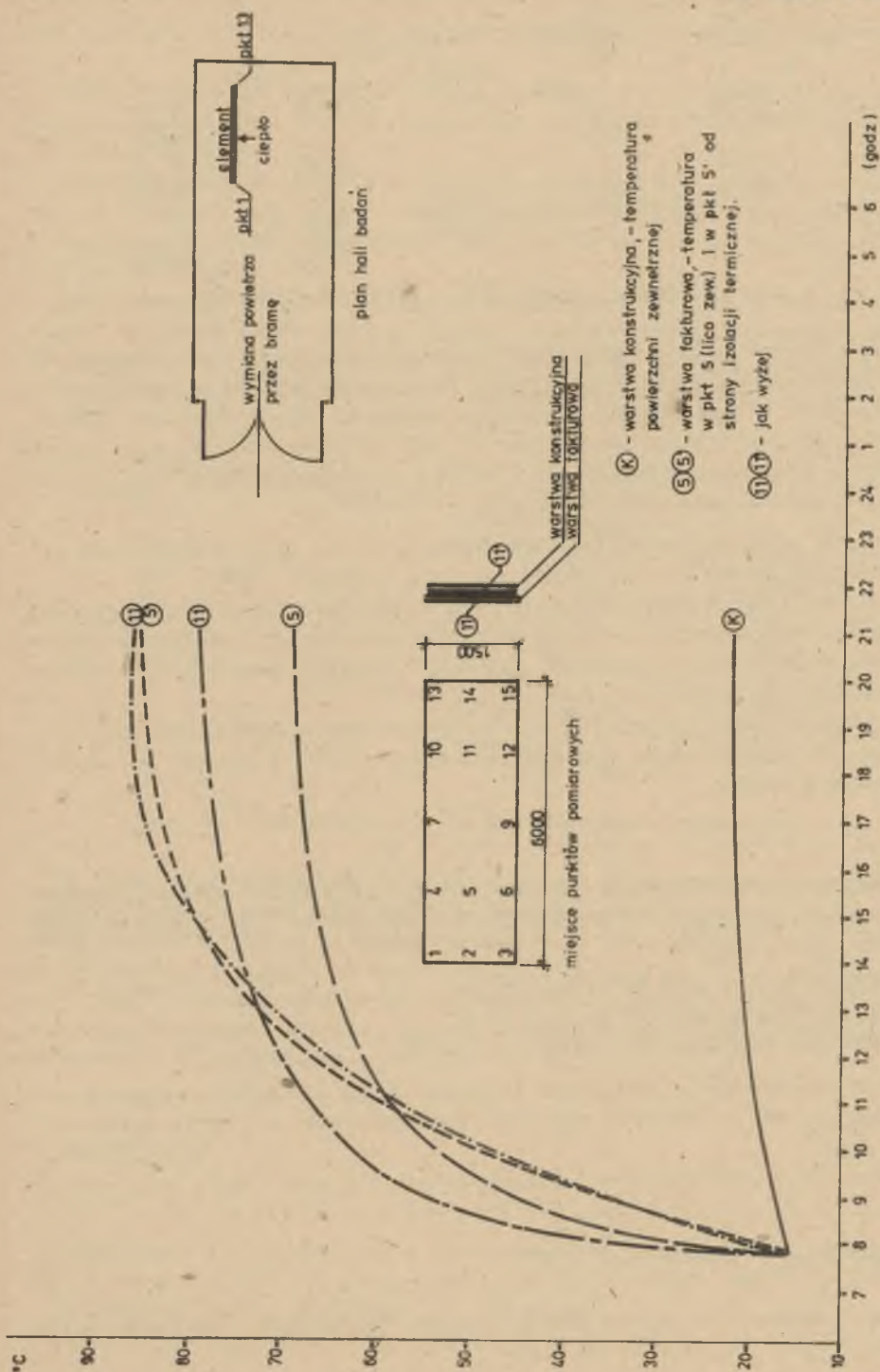
- w części górnej od 1,65 mm do 2,31 mm,
- w części dolnej od 1,49 mm do 1,80 mm,
- w kierunku pionowym od 0,81 mm do 1,62 mm.

Wybrzuszenie płyty fakturowej (czujnik nr 11) w pierwszych cyklach wynosiło 1,20 mm, a następnie zmalało i ustabilizowało się na wartości około 0,7 mm.

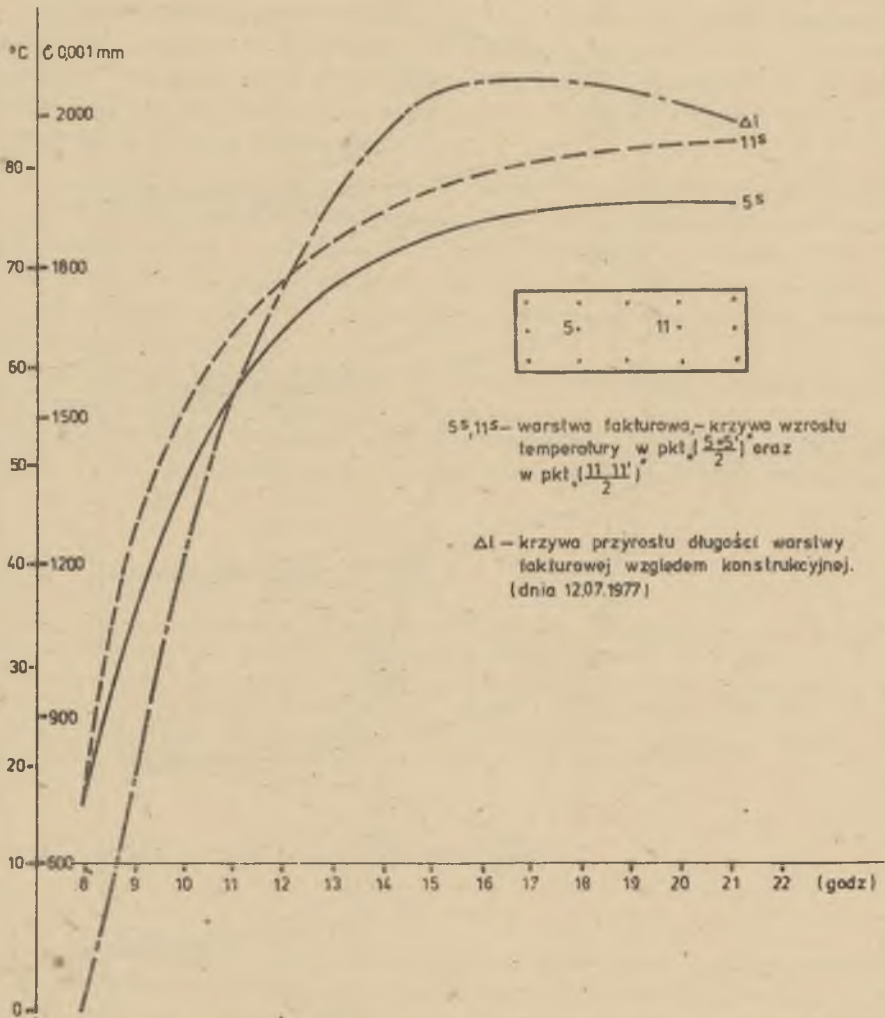
Stwierdzono równocześnie zmniejszanie się długości płyty konstrukcyjnej:

- w części górnej średnio o 1,1 mm,
- w części dolnej średnio o 1,4 mm.

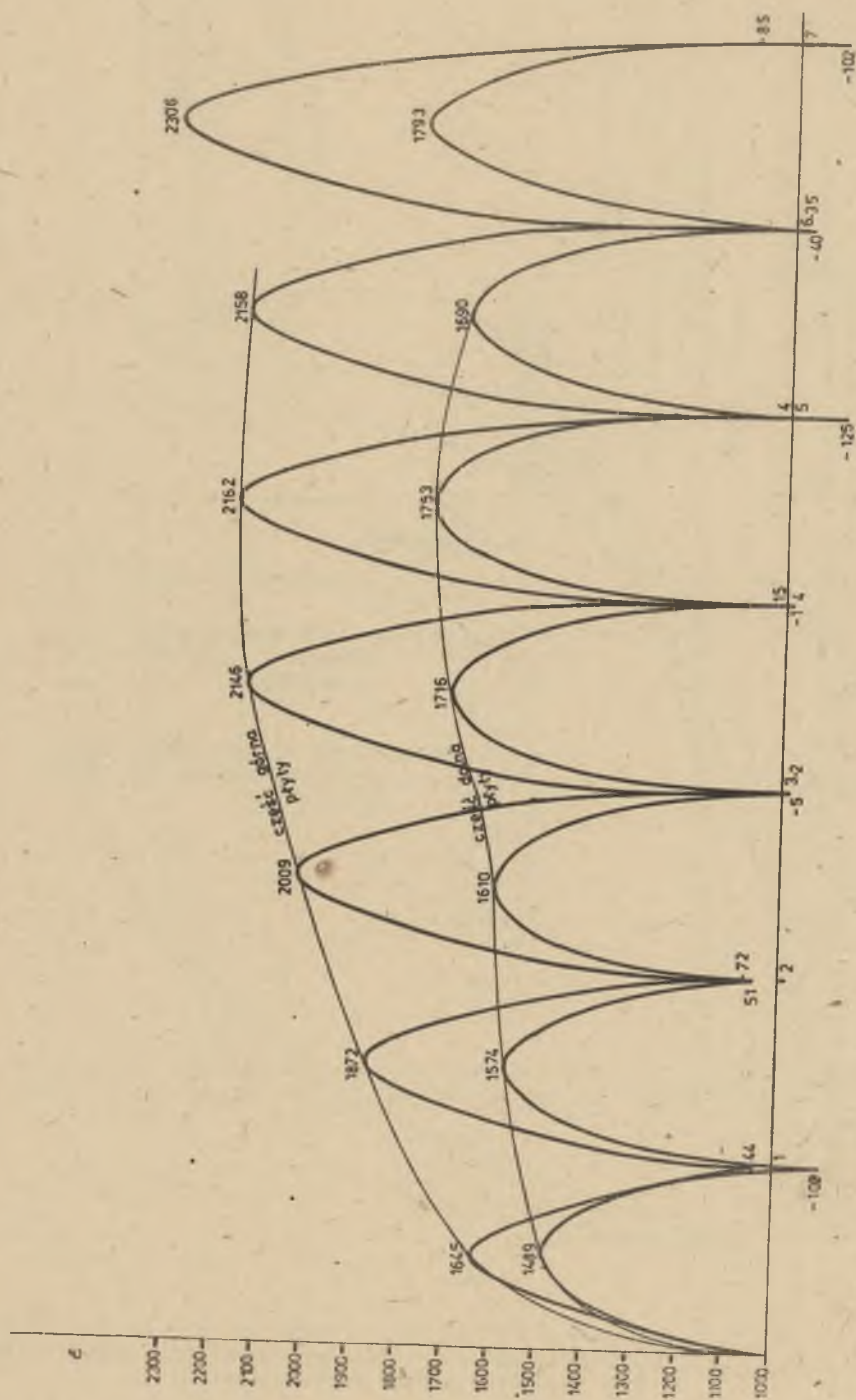
Element pasmowy jako całość ulegał wygięciu wypukłością w kierunku źródła ciepła.



Rys. 8. Wykres zależności wzrostu temperatury warstwy fakturowej w czasie ogrzewania elementu



Rys. 9. Zależność pomiędzy temperaturą warstwy fakturowej a jej wydłużeniem w czasie jednego cyklu grzania



Rys. 10. Dzielne wahania wydłużenia względnego warstwy fakturowej

Zależność między temperaturą warstwy fakturowej a jej wydłużeniem w czasie jednego cyklu grzania przedstawiono na rys. 9, a zmiany wydłużenia płyty fakturowej w kolejnych cyklach grzania na rys. 10.

6. Wnioski

Przeprowadzone badania miały za zadanie weryfikację zaprojektowanego rozwiązania łącznika scalającego tarczę konstrukcyjną z tarczą fakturową elementów pasmowych systemu W-70/PRAS-BET. Uzyskano potwierdzenie przydatności badanych łączników, a także szereg wniosków przydatnych w projektowaniu tego typu elementów:

1. Połączenie scalające betonowych elementów wielowarstwowych ścian pasmowych może być wykonane przy użyciu łączników niepodatnych, pod warunkiem zapewnienia im możliwości przemieszczeń (luzów) o wartości 0,8 - 1,0 mm (przy długości elementu do 6,0 m) w kierunkach poziomych i w górę.

2. Zawieszenie warstwy fakturowej na łącznikach powinno mieć charakter przegubowo-przesuwny.

3. Wpływ sztywności łączników na wielkość odkształceń termicznych elementu jest pomijalnie mały.

4. Odkształcenia termiczne elementu pasmowego z niepodatnymi łącznikami scalającymi zwiększają się w pierwszych kolejnych cyklach nagrzewu.

LITERATURA

- [1] CZIESIELSKI: Konstruktion und Dichtung bei Aussenwandfugen im Beton- und Leichtbeton-tafelbau Bauingenieur-Praxis 1970 Heft 56.
- [2] JEMIELIANOW A.: Raschet trochstojnych panelej gibkimi swiazami i ich stykow na dejstwije temperatury. Beton i Żelezobeton 11/1978.
- [3] Praca zbiorowa: Zbiór zadań z wytrzymałości materiałów. Część 1. Skrypty uczelniane Politechnika Śląska, Gliwice 1966.

ПОЛОСНАЯ СТЕНА И ЕЕ ТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ

Резюме

В докладе оодержатся результаты испытаний термической работы элемента бетонной полосной многослойной стены системы W-70/PRAS-BET, а также анализ влияния термических деформаций на конструкцию элемента и его соединений. Испытания проводились на элементе длиной 6000 мм при дифференцированных круглосуточных температурных циклах, изменяющиеся по заданным режимам, соответствующим условиям сильного солнечного нагрева летом.

THE WALL STRIP AND ITS THERMAL DEFORMABILITY

S u m m a r y

The paper contains the results of tests on thermal work of a concrete multilayer wall strip element in the W-70 Pressed concrete system as well as the analysis of deformation impact on the element's structure and its joints. The studies were carried out on the 6000 mm element at various daily temperature cycles that change according to preset courses and meet the intensive sunheat conditions in the summer.