

Wpływ niezbrojonych złączy na zachowanie się elementów płytowych obciążonych temperaturą

Mgr inż. Szymon Kaźmierczak, Politechnika Krakowska

ARTYKUŁY PROBLEMOWE

1. Wprowadzenie

Obecnie realizowane są w Polsce prefabrykowane, cylindryczne zbiorniki na ciecze, których charakterystyczną cechą jest brak zbrojenia „zsywającego” w pionowych złączach między elementami ściennymi. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu sprężenia wewnętrznymi cięgnami bez przyczepności, w kierunku obwodowym (rys. 1). Zgodnie z wymaganiami PN-EN 1991-1-5 [1], przy projektowaniu zbiorników należy uwzględnić oddziaływania termiczne pochodzenia klimatycznego, oddziaływania wynikające z temperatury przechowywanego materiału i efekty wza-

jemnej interakcji między konstrukcją a znajdującą się w niej zawartością podczas zmian temperatury. W kombinacjach oddziaływań termicznych bierzemy pod uwagę możliwość wystąpienia trzech składowych temperatury: równomiernej, liniowo zmiennej różnicy temperatury na powierzchniach zewnętrznych ściany i „skokowej” zmiany temperatury wzdłuż obwodu (rys. 2).

W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań laboratoryjnych, których celem było określenie wpływu niezbrojonego złącza na pracę sprężonych elementów płytowych, w warunkach oddziaływania temperatury.

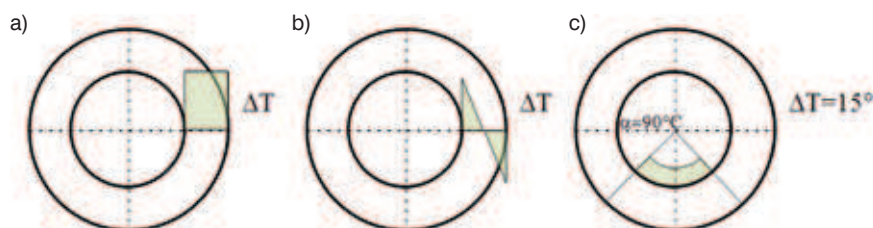
2. Charakterystyka badanych elementów

Przeprowadzono badania czterech elementów płytowych obciążonych różnicą temperatury na powierzchniach zewnętrznych [2]. Stanowisko badawcze, zostało tak zaprojektowane, aby zablokować możliwość obrotu płyt na podporze. Założenie o realizacji eksperymentu przy takich samych statycznych i kinematycznych warunkach brzegowych, osiągnięto dzięki badaniu dwóch płyt równocześnie: z niezbrojonym złączem o szerokości 10 mm i bez złącza (tab. 1).

W celu zapewnienia szczelności ściany zbiornika, konstrukcja złącza wymaga wykonania niewielkiego żeberka. Lokalne pogrubienie powłoki oraz zastosowanie neoprenowych uszczelnień przy jej zewnętrznych krawędziach powoduje zmianę mimośrodowo działania siły sprężającej w przekroju przez złącze (rys. 3). Całkowita długość każdej płyty wynosiła 3600 mm, szerokość elementu była równa 1000 mm, a wysokość przekroju poprzecznego 180 mm. Z uwagi na sposób zbrojenia, każda płyta została podzielona na dwie części: strefę podporową i przęsłową. W strefie przęsłowej zbrojenie podłużne płyt stanowiły pręty żebrowane $\phi 8$ mm ze stali RB500W, w rozstawie co 100 mm. Pręty te ułożono w dwóch warstwach (górnej i dolnej), jako zbrojenie zewnętrzne, przy zachowaniu grubości otuliny równej 40 mm. Jako zbrojenie wewnętrzne,



Rys. 1. Montaż prefabrykowanej ściany zbiornika

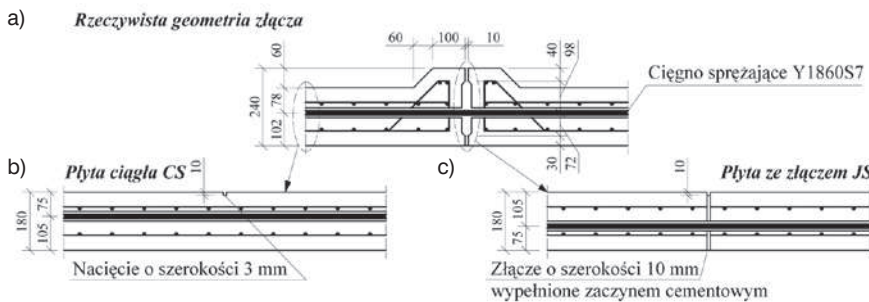


Rys. 2. Składowe temperatury dla zbiorników wg PN-EN 1991-1-5 [1]: a) równomierna, b) liniowo zmienna różnica temperatury, c) „skokowa” zmiana temperatury na 1/4 długości obwodu

Tabela 1. Parametry zmienne w badaniu nr 1 i 2

Nr badania	Typ płyty	Symbol elementu	maks. ΔT_{zew}	Wartość siły sprężającej	Mimośród siły sprężającej*	Klasa betonu
B1	Ze złączem	JS-B1	80°C	180	15 mm	C30/37
	Bez złącza	CS-B1		180	-15 mm	
B2	Ze złączem	JS-B2	70°C	90	15 mm	C55/67
	Bez złącza	CS-B2		90	-15 mm	

* znak „-” oznacza położenie osi splotu powyżej środka ciężkości przekroju



Rys. 3. Przekrój: a) rzeczywisty, b) płyta ciągła, c) płyta ze złączem

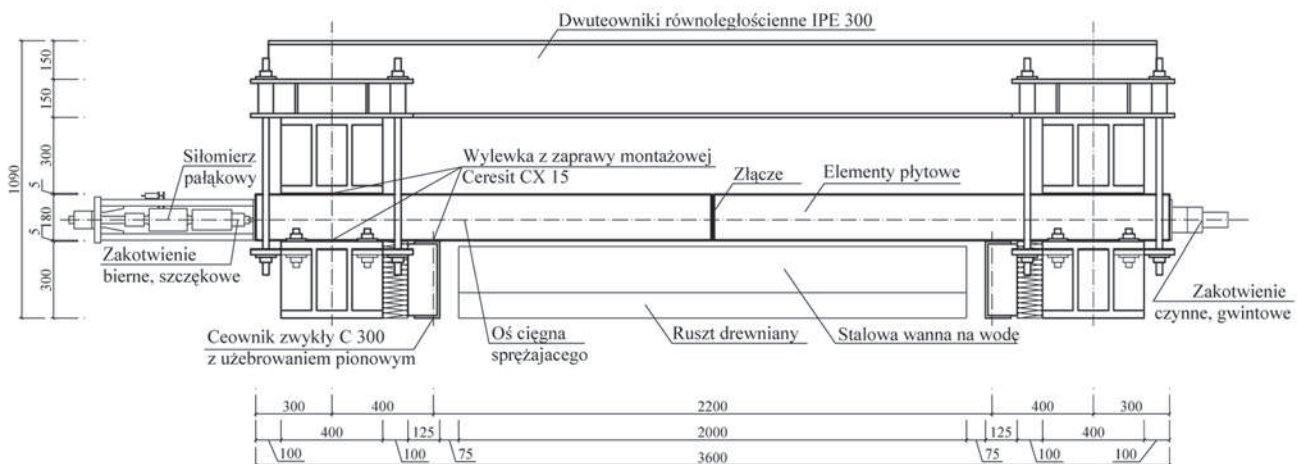
na kierunku poprzecznym, zastosowano pręty żebrowane $\phi 12$ mm ze stali RB500W, również w rozstawie co 100 mm. W strefie podporowej zastosowano dodatkowe zbrojenie na kierunku podłużnym, w postaci pętli z prętów żebrowanych $\phi 12$ mm ze stali RB500W. W każdym elemencie uformowano dwa kanały kablowe o średnicy 30 mm, do sprężenia wewnętrznymi cięgnami bezprzyczepnościami. Do ich wykonania użyto osło-

nek z polietylenu o wysokiej gęstości (HDPE). Cięgno sprężające składało się z pojedynczego splotu Y1860S7 o polu przekroju 93 mm^2 i średnicy 12,5 mm.

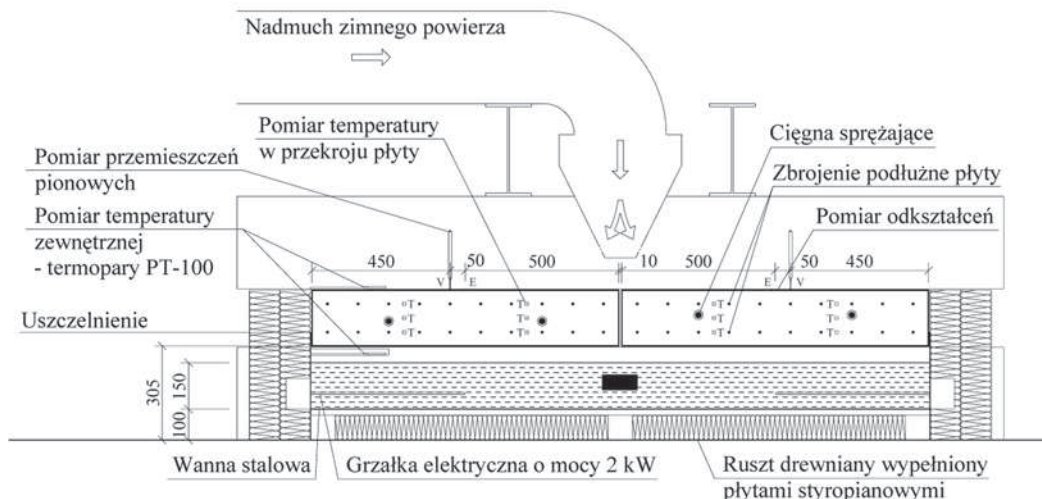
3. Stanowisko badawcze i realizacja obciążenia temperaturą

Głównymi elementami stalowej konstrukcji stanowiska były cztery belki dwuteowe z podwójnym

środnikiem i dodatkowym uzębieniem poprzecznym. Podstawowym zadaniem podpory było odebranie swobody obrotu badanych płyt, na obu jej końcach. W wyniku obciążenia termicznego, przewidywane ugięcie osi płyt było skierowane w dół, wobec czego zastosowano dodatkowo tzw. „podporę jednostronną”, w postaci stalowego ceownika C300 wzmocnionego dodatkowymi żeberkami poprzecznymi. Geometrię stanowiska przedstawiono na rysunku 4. Podstawowym obciążeniem płyt była różnica temperatury między ich zewnętrznymi powierzchniami. Układ do wytworzenia obciążenia termicznego składał się ze stalowej wanny o wymiarach $2000 \text{ mm} \times 2000 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ napełnionej wodą i umieszczonej pod badanymi elementami. Do ogrzewania wody zastosowano zestaw czterech zanurzeniowych grzałek elektrycznych, każda o mocy 2000 W. Sterowanie temperaturą grzałek zrealizowano za pomocą termostatu z kapilarą zanurzoną w wodzie. Stalowa wanna została termicznie odizolowana od otoczenia za pomocą warstwy styropianu o grubości 200 mm oraz pianki termoizolacyjnej użytej do uszczelnienia styku wanny z płytami. Do chłodzenia górnej powierzchni płyt zastosowano zimne powietrze atmosferyczne włączane poprzez elastyczny przewód transportowy



Rys. 4. Geometria stanowiska (widok z boku)



Rys. 5. Układ do ogrzewania dolnej i chłodzenia górnej powierzchni badanych elementów

o średnicy 300 mm. Aby zwiększyć efektywność chłodzenia, stanowisko badawcze zostało zamknięte w uszczelnionym namiocie. Badania przeprowadzono w okresie zimowym, przy temperaturze powietrza atmosferycznego dochodzącej do -15°C .

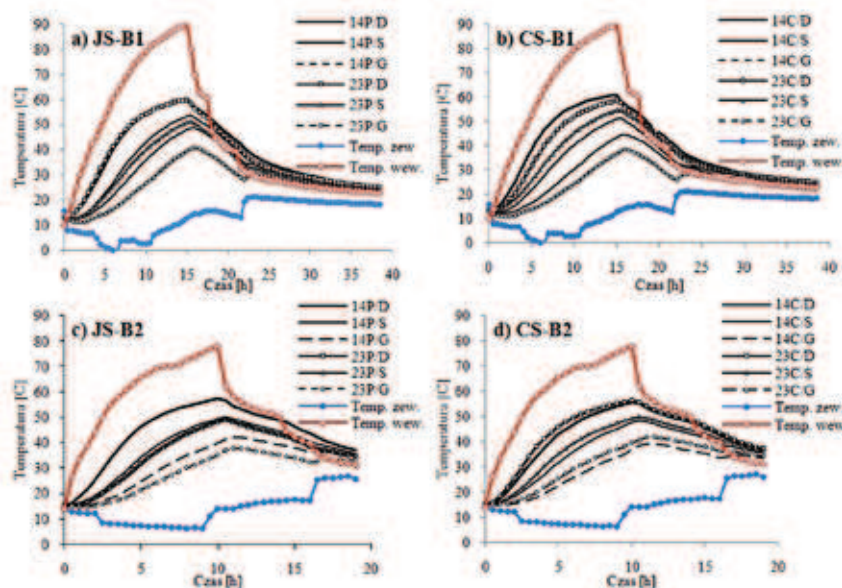
4. Wyniki

Zmiany wartości temperatury w przekroju i na zewnętrznych powierzchniach badanych elementów pokazano na rys. 6. Temperaturę wewnątrz elementu pomierzono za pomocą termistorów usytuowanych w czterech punktach (nr 1–4), po 3 na wysokości przekroju (w osi i po jednym w odległości 30 mm od obu powierzchni). Zarejestrowana wartość temperatury na określonej wysokości (D – dół, S – środek, G – góra) jest średnią z dwóch punktów 1 i 4 lub 2 i 3. Temperaturę powietrza na górnej powierzchni płyt (temp. zew.) i wewnątrz stalowej wanny z wodą (temp. wew.) pomierzono za pomocą termopar PT-100.

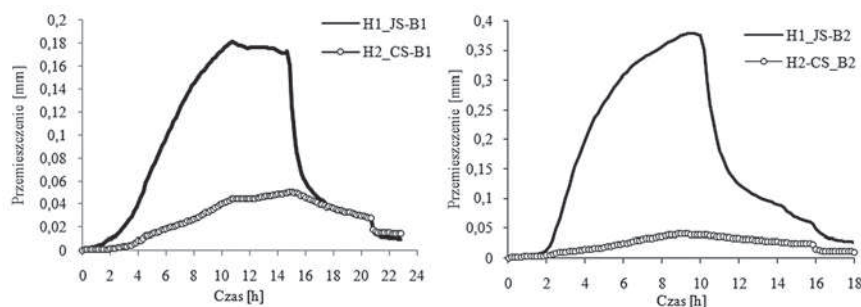
Na rys. 6 można zauważyć spadek różnicy temperatury w przekroju betonowym, w trakcie przeprowadzania obu eksperymentów, pomimo przyrostu różnicy temperatury otoczenia. W pierwszym badaniu ekstremum różnicy temperatury w przekroju wystąpiło po około 9 godzinach, a w badaniu drugim po około 6 godzinach. Efekt

ten jest związany z akumulacją ciepła w betonowej płycie. Wzrasta średnia temperatura w przekroju i maleje różnica temperatury. Bezpośrednio jest to związane

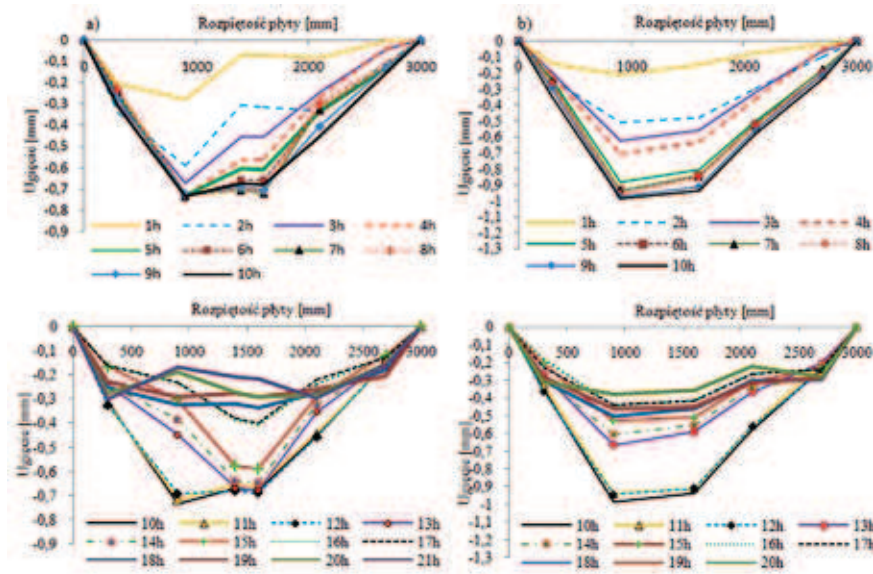
z mniejszą efektywnością sposobu chłodzenia zimnym powietrzem, od ogrzewania parą wodną. Bieżąca obserwacja rozkładu temperatury w trakcie eksperymentu po-



Rys. 6. Pomierzone wartości temperatury w przekroju i na zewnętrznych powierzchniach płyt



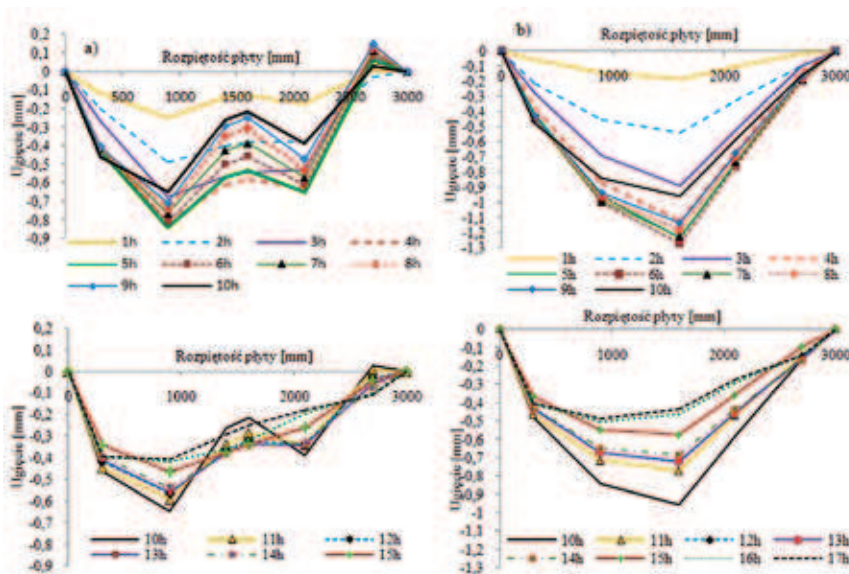
Rys. 7. Przyrost przemieszczenia w czasie, w przekroju przez złącze (H1) i płytę ciągłą (H2)



Rys. 8. Ugięcia płyty: a) półkowej JS-B1 i b) ciągłej CS-B1, podczas badania nr 1

zwoiliła na takie sterowanie obciążeniem termicznym, aby w przypadku zmniejszania się tej różnicy rozpocząć proces odciążenia, czyli stopniowego wychładzania wody. Horyzontalne przemieszczenia pomierzone w połowie rozpiętości płyt, w przekroju przez złącze (H1) i „sztuczną rysę” (H2) przedstawiono na rysunku 7. Pomiar zrealizowano za pomocą czujników drogi usytuowanych w osi każdej płyty, 10 mm powyżej ich górnej powierzchni. W przypadku ba-

dania B1, maksymalna wartość przemieszczeń jest równa $H1_{max} = 0,181$ mm i $H2_{max} = 0,051$ mm. Dla badania B2 przemieszczenia te są równe, odpowiednio $H1_{max} = 0,379$ mm i $H2_{max} = 0,041$ mm. Analizując wykresy przemieszczeń można zauważyć, że w przypadku płyt ciągłych (CS-B1 i CS-B2) pomierzone wartości przemieszczeń $H2_{max}$ mają zbliżoną wartość. W przypadku płyt ze złączem (JS-B1 i JS-B2) odnotowane wartości maksymalnych przemieszczeń



Rys. 9. Ugięcia płyty: a) półkowej JS-B2 i b) ciągłej CS-B2, podczas badania nr 2

są kilkakrotnie większe, w porównaniu do przemieszczeń płyt ciągłych: $H1_{max}/H2_{max} = 3,55$ dla B1 i $H1_{max}/H2_{max} = 9,24$ dla B2.

Zmiany wartości ugięcia płyt w odstępie jednej godziny zaobserwowane podczas badania nr 1 i 2 przedstawiono na rys 8 i 9. Maksymalne ugięcia płyt w badaniu nr 1 i 2 wynosiło: -0,728 mm (JS-B1), -0,985 mm (CS-B1), -0,837 mm (JS-B2) i -1,268 mm (JS-B2).

5. Podsumowanie

1. Obecność niezbrojonego złącza ma znaczący wpływ na pracę sprężonych elementów płytowych. Mniejszy poziom wprowadzonych naprężeń ściskających na górnej krawędzi przekroju, mniejsza sztywność przekroju złącza oraz gorsze cechy mechaniczne styku, w stosunku do parametrów dwóch materiałów łączonych, powodują obniżenie rysoodporności złącza.
2. Pomimo sprężenia elementów płytowych, naprężenia rozciągające wywołane obciążeniem różnicą temperatury na powierzchniach zewnętrznych są większe niż przy czepność zaczynu cementowego do betonu w styku, i powodują zarysowanie złącza.
3. W obu eksperymentach badawczych rysa w złączu miała nieregularny przebieg, występowała zarówno na styku prefabrykat – zaczyn iniekcyjny, jak i w samym zaczynie wypełniającym złącze.
4. Analizując ugięcie elementu JS-B2 można zauważyć charakterystyczne „wywijanie” krawędzi złącza, po jego zarysowaniu. Sprężenie płyty JS-B1 siłami o większej wartości powoduje, że efekt ten nie występuje.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 1991-1-5:2005 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-5: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania termiczne
- [2] Kaźmierczak Sz., Niezbrojone złącza płytowych elementów sprężonych pod obciążeniem termicznym – badania i nieliniowa analiza MES. Czasopismo Techniczne z. 21, Seria: Budownictwo z. 1-B, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2008