

POTENCJALNE RYZYKO WYSTĄPIENIA AWARII PREFABRYKOWANYCH OBIEKTÓW BUDOWLANYCH OMÓWIONE NA WYBRANYCH PRZYKŁADACH

SZYMON WOJCIECHOWSKI, e-mail: szymon.wojciechowski@pekabex.pl

BRONISŁAW DESKUR

WOJCIECH SZULC

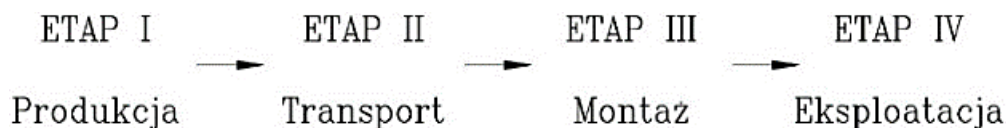
Grupa Pekabex

Streszczenie: W dzisiejszych czasach istnieją sektory budownictwa, które w pełni wykorzystują zalety prefabrykacji. Wznoszenie obiektów w tej technologii można podzielić na wyraźne etapy. W każdym z nich na skutek wypadków losowych, błędów projektowych oraz wykonawczych może dojść do awarii. Niebezpiecznym czynnikiem zewnętrznym, który oddziałuje na elementy prefabrykowane jest ujemna temperatura. Powoduje ona zamarzanie wody gromadzącej się w wybraniach, czego konsekwencją może być rozsądzenie elementu. Silnie narażone na destrukcyjne działanie zamarzniętej wody są płyty kanałowe. Innymi miejscami, które nie są często traktowane z należytą uwagą są wsporniki drugorzędne. Pozornie mniej ważne, mogą ulec awarii i stanowić zagrożenie dla konstrukcji. Nieodpowiednio zaprojektowane zbrojenie niebezpieczne jest także dla głowic słupów. Są one jednym z miejsc szczególnych, na które podczas projektowania należy zwrócić szczególną uwagę. W pracy omówiono przyczyny awarii oraz sposoby ich naprawy na wybranych przykładach.

Słowa kluczowe: prefabrykacja żelbetowa, zamarznięta woda, awarie, wspornik, głowica słupa, zbrojenie

1. Etapy wznoszenia konstrukcji prefabrykowanych

W ostatnich latach, kiedy jednym z najważniejszych kryteriów realizacji projektów budowlanych stał się czas, dużą popularnością cieszą się konstrukcje prefabrykowane. Pomimo małego zainteresowania budownictwem wielkopłytowym w naszym kraju, istnieją takie dziedziny budownictwa, w których zyski wynikające z zastosowania technologii prefabrykowanej przewyższają stosunkowo wysoką cenę jednostkową elementów. Do najważniejszych zalet prefabrykacji należą m. in.: znaczne uniezależnienie się od warunków klimatycznych, estetyka wykonania, wysoka jakość produktów oraz krótki czas budowy. Konstrukcje prefabrykowane charakteryzują się tym, że elementy składowe konstrukcji wykonywane są poza miejscem wbudowania. Często odbywa się to w specjalistycznych zakładach produkcyjnych zlokalizowanych poza obszarem budowy. Po przejściu etapu produkcji, kontroli jakości oraz starannego wykończenia elementy prefabrykowane są transportowane na plac budowy. Montowane zgodnie z docelowym miejscem wbudowania, są ze sobą łączone i tworzą integralną całość. Ostatnim etapem jest eksploatacja obiektu. Schematycznie etapy wznoszenia konstrukcji w technologii prefabrykowanej pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Etapy wznoszenia konstrukcji w technologii prefabrykowanej, [źródło własne]

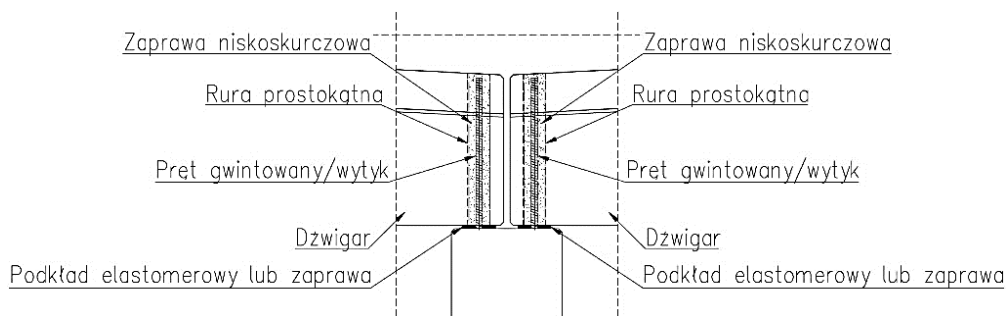
Każdy element składowy konstrukcji prefabrykowanej, poza zaprojektowaniem go na fazę eksploatacji, musi posiadać odpowiednią odporność, także na pracę w pozostałych trzech fazach. Ze względu na znacznie różniące się schematy statyczne pracy elementów, działające obciążenia, a także warunki środowiskowe jest to zadanie niezwykle skomplikowane i pracochłonne. Ponadto na każdym z etapów elementy narażone są na zdarzenia losowe, które mogą być przyczyną mniejszych lub większych awarii. W przypadku ich wystąpienia każdorazowo zaistniała sytuacja analizowana jest pod kątem zdolności i kosztowności wykonania naprawy. Niekiedy okazuje się, że pomimo możliwości wykonania naprawy, lepszym rozwiązaniem jest wyprodukowanie nowego elementu. Tak się zdarza, gdy koszty naprawy są znaczne, a miejsce wbudowania prefabrykatów znajduje się w bliskiej lokalizacji zakładu produkcyjnego i koszty transportu są w tym przypadku do zaakceptowania. W niniejszym referacie zostaną przedstawione przykłady awarii konstrukcji prefabrykowanych lub ich wydzielonych elementów. Zaprezentowane zostaną przyczyny wystąpienia awarii, sposoby jej naprawy oraz zalecenia, które pozwalają uniknąć podobnej sytuacji w przyszłości.

2. Awarie elementów prefabrykowanych w warunkach zimowych

Obiekty budowlane na etapie wznoszenia narażone są na działanie szkodliwych warunków atmosferycznych. Zanim zostaną odpowiednio zabezpieczone (hydroizolacja, izolacja termiczna, elewacja itp.) na wszystkich etapach należy zastosować środki zapobiegające uszkodzeniu niezabezpieczonej konstrukcji. Jednym z najbardziej niebezpiecznych czynników klimatycznych jest ujemna temperatura. Podczas jej działania zamarzająca woda często może okazać się katastrofalna w skutkach, powodując zarysowanie lub rozsądzenie fragmentu konstrukcji.

2.1. Prefabrykaty montowane na wytykach

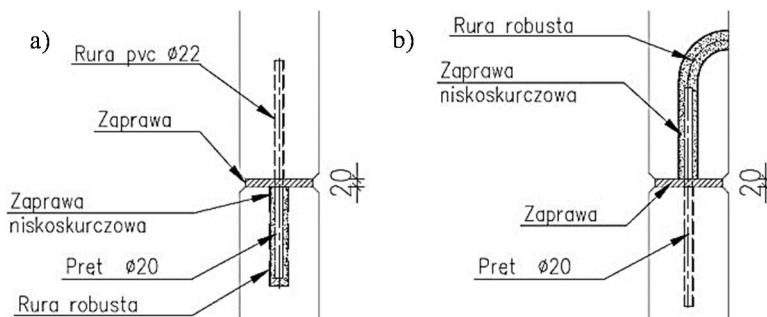
W gronie najbardziej powszechnych rodzajów połączeń wykorzystywanych w konstrukcjach prefabrykowanych znajdują się połączenie na tzw. wytyki. W jednym z łączonych elementów wykonywane jest wybranie (często za pomocą rur robusta), w którym w późniejszym etapie osadzany jest wytyk drugiego z elementów, a samo wybranie zalewane jest zaprawą niskoskurczową. Przykładowe połączenie na wytyki pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Połączenie prefabrykatów za pomocą wytyków, [źródło własne]

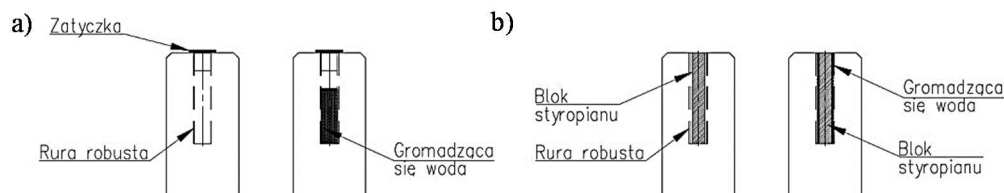
Dużym zagrożeniem w przypadku opisywanego połączenia jest gromadzenie się wody w elementach posiadających wybranie. W przypadku wystąpienia ujemnych temperatur zamarzająca w wybraniach woda może doprowadzić do rozsądzenia elementu. Poniżej przedstawiono dwa warianty rozwiązania omawianego połączenia na przykładzie ścian jednowarstwowych. Praktyka wskazuje, że połączenia tego typu należy kształtować w taki sposób, aby

rura robusta znajdowała się w elemencie znajdującym się wyżej, tak aby woda w trakcie składowania elementów nie miała gdzie się gromadzić (rys. 3b). Często jednak połączenie to jest odwracane i wybranie zlokalizowane jest w elemencie dolnym (rys. 3a). Do najważniejszych czynników mających wpływ na odwrócenie tego połączenia zaliczyć można walor estetyczny. W przypadku połączenia przedstawionego na rys. 3a mamy do czynienia z tzw. „czystym” połączeniem bez widocznych śladów po zalanej rurze robusta.



Rys. 3. Połączenie ścian prefabrykowanych za pomocą wytyków: a) robusta w ścianie dolnej, b) robusta w ścianie górnej, [źródło własne]

Wartości sił generowanych przez zamarzającą wodę są tak duże, że nawet silne dozbrojenie rur robusta nie zabezpieczy w pełni elementu przed zarysowaniem. Rozwiązaniem tego problemu jest niedopuszczenie do wypełnienia wodą wybrań w elementach prefabrykowanych. W tym celu stosuje się szereg różnych zabezpieczeń. Przykładowe zostały pokazane na rys. 4.



Rys. 4. Zabezpieczenie rury robusta przed zalaniem wodą: a) zasłonięcie rury zatyczką, b) wypełnienie rury styropianem, [źródło własne]

Na rysunku 4a rurę robusta zasłonięto zatyczką. Pozornie rozwiązanie to wydaje się bezpieczne, jednak niesie ze sobą pewne ryzyko. Ze względu na różne niedokładności ciężko jest szczelnie zamknąć górną powierzchnię elementu zatyczką w taki sposób, aby woda nie mogła się dostawać przez nieszczelności do wnętrza rury. Pod kapslem może gromadzić się woda, a w konsekwencji może dojść do rozsądzania elementu. Rysunek 4b przedstawia wypełnienie rury blokiem styropianu. Takie rozwiązanie zabezpiecza rurę przed pełnym wypełnieniem jej wodą, a ewentualne zamarznięcie spowoduje ściśnięcie styropianu, a nie rozsądzanie elementu. Wymaga ono jednak pracochłonnego usunięcia resztek styropianu z rury bezpośrednio przed montażem.

Połączenie elementów na wytyki jest bardzo powszechne w przypadku połączeń konstrukcji prefabrykowanej z fundamentem. Z fundamentu wypuszczane są pręty zbrojeniowe, na które w późniejszym etapie osadzany jest element konstrukcyjny np. słup prefabrykowany. W słupie znajdują się rury robusta, które po osadzeniu zostają wypełnione zaprawą niskoskurczową wysokiej wytrzymałości. Po związaniu zaprawy, powierzchnia słupa jest wykańczana i zabezpieczana przed penetracją wody do wnętrza rur. Bardzo niebezpiecznym

zjawiskiem jest pozostawienie nie w pełni zalanych rur w słupie. Zalewanie należy wykonywać za jednym podejściem. Pozostawienie wolnej przestrzeni w rurze, która nie jest drożna (częściowo wypełniona zaprawą) może doprowadzić do gromadzenia się w niej wody, czego konsekwencją przy ewentualnym zamarznięciu może być rozsadzenie prefabrykatu. Na rys. 5 pokazano przykład uszkodzenia narożnika słupa na etapie montażu powstały na skutek opisanej wyżej sytuacji.



Rys. 5. Rozsadzenie narożnika słupa przez zamarznąłą wodę: po lewej – niekompletnie wypełniona rura robusta, po prawej – uszkodzony narożnik słupa, [źródło własne]

Program naprawy uszkodzenia polegał na odtworzeniu zniszczonego narożnika. W tym celu słup został odciążony, a uszkodzone luźne fragmenty betonu zostały usunięte. W miejsce uszkodzenia zostały wklejone dodatkowe pręty poprzeczne polepszające współpracę pomiędzy dolnym fragmentem słupa, a jego istniejącą częścią. Uszkodzona powierzchnia betonu została nasycona odpowiednią warstwą szepną. Przygotowany do zalania zaprawą ekspansywną wysokiej wytrzymałości uszkodzony fragment pokazano na rys. 6.



Rys. 6. Przygotowany do zalania uszkodzony fragment słupa, [źródło własne]

Po pełnym związaniu zaprawy wypełniającej ubytek geometria słupa została odtworzona. Zbrojenie główne oraz strzemiona nie uległy zniszczeniu. Ze względu na odciążenie słupa przed rozpoczęciem naprawy można stwierdzić, że pełen przekrój poprzeczny elementu będzie w pełni pracował na ponowne obciążenie konstrukcji.

2.2. Płyty kanałowe

Elementami prefabrykowanymi silnie narażonymi na wysadzinowe działanie zamarzniętej wody są płyty kanałowe. W dolnej półce płyt wykonuje się otwory służące do odprowadzania wody podczas składowania elementów na magazynie. Otwory te spełniają również swoje zadanie w konstrukcjach narażonych na bezpośredni wpływ opadów atmosferycznych. W przypadku problemów ze szczelnością znajdujących się na płytach warstw wykończeniowych i możliwością penetracji wody, niezbędne jest zapewnienie drożności otworów, aby nie dochodziło do gromadzenia się wody w kanałach płyt, a w okresie zimowym do ryzyka rozsądzania kanału. Przy projektowaniu płyt kanałowych nie przewiduje się pracy płyt w przypadku nieszczelności warstw wierzchnich i przenikania wody w konstrukcję stropu. Wyżej opisane otwory oraz ich drożność mogą jedynie zmniejszać negatywny wpływ penetracji wody w sytuacji awaryjnej, jaką może okazać się uszkodzenie hydroizolacji. Na rys. 7 pokazano skutek gromadzenia się wody w kanałach płyty kanałowej oraz jej zamarznięcie.



Rys. 7. Rozsadzona przez zamarzniętą wodę płyta kanałowa, [źródło własne]

Opisywana płyta znajdowała się w obiekcie, który był zaprojektowany do pracy w zmiennych warunkach temperaturowych (nie posiadał izolacji termicznej). Warstwy wykończeniowe hydroizolacji znajdujące się nad stropodachem z płyt kanałowych posiadały wady, czego konsekwencją był bezpośredni kontakt wody z elementami prefabrykowanymi. Jak widać na zdjęciu powierzchnia dolna płyt była wykończona warstwą tynku, co z kolei skutkowało zablokowaniem wszystkich otworów mogących odprowadzać gromadzącą się w kanałach wodę. Pod wpływem wystąpienia ujemnych temperatur doszło do zamarznięcia wody przez co element uległ zarysowaniu wzdłuż kanałów. Dalsza filtracja wód opadowych do wnętrza kanału oraz kolejne cykle zamarzania dodatkowej ilości wody spowodowało rozsądzanie fragmentu dolnej półki płyty kanałowej.

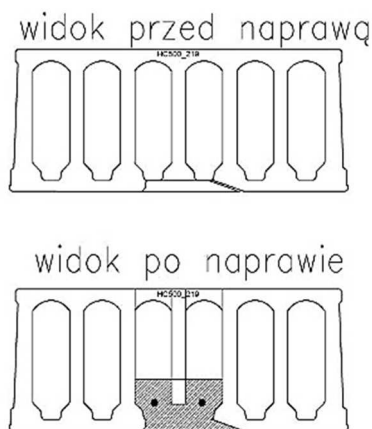
Omawiana płyta została uszkodzona w strefie przeszłowej, w której półka dolna jest rozciągana. Wystąpienie uszkodzenia w tej strefie dało projektantom szansę na podjęcie próby wykonania programu naprawy. Dolne zbrojenie rozciągane nie zostało zniszczone. Sprawdzeniu poddano nośność sąsiednich płyt pod kątem ich współpracy z elementem uszkodzonym. Opracowany program naprawy polegał na odtworzeniu uszkodzonego fragmentu półki dolnej płyty. Przygotowywaną do rozpoczęcia naprawy płytę kanałową pokazano na rys. 8. Należało zadbać o to, aby element był wolny od jakichkolwiek fragmentów odspojonego betonu,

a powierzchnie styku należało przygotować do połączenia z materiałem zalewowym za pomocą specjalnych preparatów szczepnych.



Rys. 8. Przygotowana do naprawy płyta kanałowa, [źródło własne]

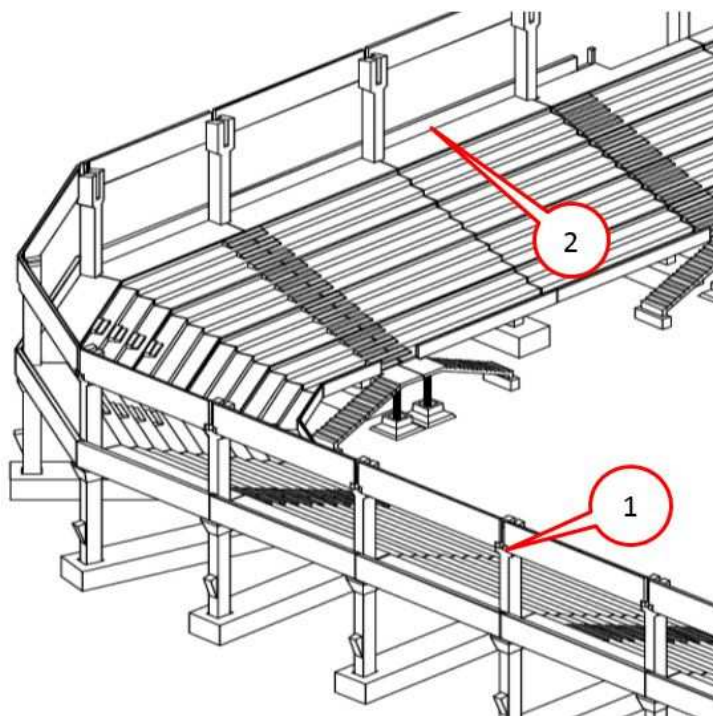
W trakcie prowadzenia prac przygotowawczych należało zwrócić szczególną uwagę na zachowanie w stanie nienaruszonym zbrojenia sprężającego płytę. Struny w trakcie naprawy przedstawionego fragmentu były sukcesywnie odsłaniane i oczyszczane. W uszkodzonych kanałach umieszczono dodatkowo pręty zbrojeniowe o średnicy 20 mm. Kanały zalano do 1/3 wysokości płyty zaprawą niskoskurczową wysokiej wytrzymałości. Zalewanie kanałów odbywało się przez wykonane w tym celu otwory w górnej półce płyty. Przekrój poprzeczny uszkodzonej płyty przed i po naprawie pokazano na rys. 9. W obiektach budowlanych wykorzystujących technologię płyt kanałowych, w których elementy te są narażone na działanie opadów atmosferycznych, aby uniknąć podobnej sytuacji należałoby prowadzić sukcesywne kontrole otworów odprowadzających wodę z kanałów. Należy jednak pamiętać, że nie można nadużywać funkcji tych otworów i przede wszystkim powinny być prowadzone regularne prace konserwatorskie związane z zapewnieniem szczelności hydroizolacji obudowy obiektu.



Rys. 9. Przekrój przez naprawianą płytę kanałową, [źródło własne]

3. Uszkodzenia wsporników „drugorzędnych”

Na przykładzie usterek zagrażających awarią budowlaną z jednego z stadionów piłkarskich zostanie przedstawiony problem podejścia do projektowania wsporników pod elementy drugorzędne. Lokalizację omawianych przypadków zaznaczono na rys. 10, na schemacie aksonometrycznym obiektu.



Rys. 10. Aksonometria konstrukcji stadionu z zaznaczeniem omawianych problemowych miejsc, [źródło własne]

3.1. Wspornik pod panele elewacyjne

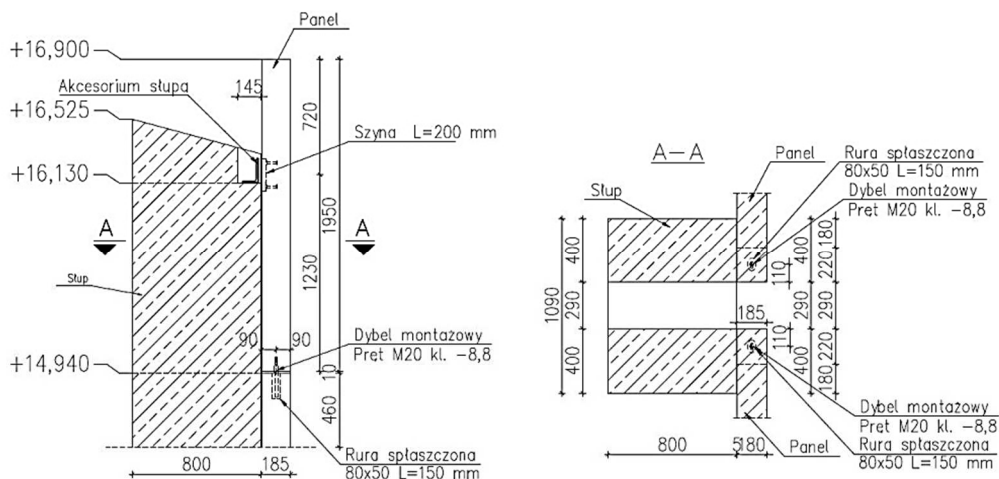
W trakcie montażu żelbetowych paneli elewacyjnych na poziomie +14,94 m w kilku przypadkach doszło do wykruszenia otuliny wspornika słupa, uniemożliwiającej oparcie i zamocowanie panelu do słupa głównego – lokalizacja nr 1 na schematycznej aksonometrii.

Żelbetowy panel o wymiarach $9,21 \times 2,42 \times 0,18$ m i masie 9,67 Mg zlokalizowano na poziomie, gdzie słup główny rozwidla się pod mocowanie kratowego, wspornikowego dźwigara dachowego, co zmniejsza możliwość wykonania szerszego wspornika pod płytę elewacyjną. Projektant mając do dyspozycji ramiona „widełek” o szerokości 400 mm zaprojektował wsporniki o szerokości tylko 220 mm, wysięgu 185 i wysokości 400 mm, na wewnętrznej krawędzi „widełek”. Stosunkowo duża wysokość wspornika wynikała z lokalizacji w jego dolnej części szyny JTA-72/48/150, do mocowania innych elementów obudowy. Wspornik przewidziany był do przeniesienia całości obciążeń pionowych, a w zakresie obciążeń poziomych wspomagany był połączeniem skręcanym z marką na głowicy słupa. Połączenie ze wspornikiem zaprojektowano w postaci trzpienia $\phi 20$ (pręt gwintowany M20 kl 8.8) wkręconego w tuleję osadzoną w płycie elewacyjnej, wpuszczonego w gniazdo w wsporniku z spłaszczoną do wymiaru 80×50 rury karbowanej $\phi 70$, wypełnionej zaprawą niskoskurczową.

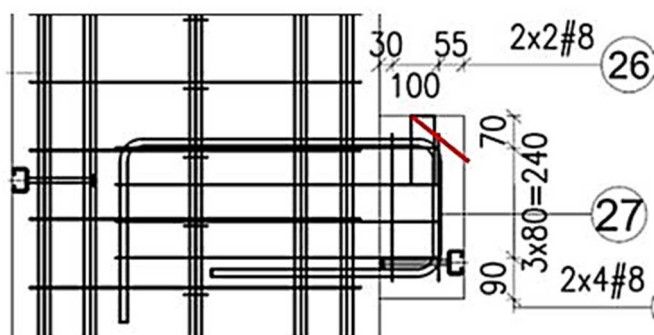
Zbrojenie słupa zaprojektowano z otuliną 40 mm, a panelu z otuliną 25 mm. Dodatkowo zastosowana poziomo szyna JTA o grubości (głębokości zatopienia) 48 mm wymusiła zwiększenie otuliny od czoła do 50 mm.

W efekcie przy przyłożeniu obciążenia na krawędź wspornika może nastąpić ścięcie niezbrojonego narożnika na głębokość i wysokość 90 mm, czyli do osi podparcia, a uwzględniając normowe odchyłki lokalizacji zbrojenia w przekroju nawet więcej, czyli ponad połowę

powierzchni podparcia. Zastosowanie gniazda na element łączący dodatkowo osłabia w momencie montażu przekrój nośny wspornika.



Rys. 11. Widok z boku i z góry oparcia panelu elewacyjnego na wsporniku słupa, [źródło własne]



Rys. 12. Zbrojenie wspornika z zaznaczoną prawdopodobną linią ścicia otuliny pod obciążeniem montażowym, [źródło własne]

Dodatkowo zaprojektowane zbrojenie nośne wspornika w postaci odginanych w pionie dwóch prętów $\phi 16$ nie daje pewnego zabezpieczenia połączenia na przekroczenie naprężeń od obciążenia wiatrem. Znacznie lepszym rozwiązaniem byłoby zastosowanie pętli poziomej obejmującej gniazdo połączeniowe. Ponadto zaprojektowane w omawianym przykładzie zbrojenie główne wspornika nie spełnia wymogów punktu 10.9.4 normy [1], który dotyczy złączy i podparć elementów prefabrykowanych. Zgodnie z przytoczonym zapisem w przypadku elementów bez pętli poziomych w strefie podporowej, skuteczną wielkość oparcia należy pomniejszyć o wartość promienia gięcia stosowanych pętli pionowych.

Problem zabezpieczenia krawędzi wspornika prefabrykowanego przed obciążeniem ścinającym otulinę dotyczy wszystkich połączeń przegubowych prefabrykatów, ale w przypadku dużych gabarytowo wsporników ewentualne ściecie otuliny dotyczy ułamka powierzchni podparcia i nie stanowi zagrożenia awarią konstrukcji, natomiast w przypadku małych wsporników zagrożenie jest o wiele większe.

Rozwiązaniem problemu byłoby zastosowanie np. okucia krawędzi kątownikiem z poziomym zakotwieniem w słupie, lub marki stalowej na całej powierzchni podporowej, podobnie zakotwionej, lub wręcz zastosowanie profilu stalowego jako wspornika. Dla górnej powierzchni wspornika, która będzie zakryta przez element dla którego wspornik stanowi oparcie można nie stosować otuliny wynikającej z względów środowiskowych, czy pożarowych.

3.2. Wspornik pod płytę podestową

Na panelu ściennym z długim poziomym wspornikiem oparto prefabrykowaną płytę podestową stanowiącą górny element trybun – lokalizacja nr 2 na schematycznej aksonometrii. Płytę tą zaprojektowano w przekroju „L”, do oparcia z przodu na „zębatach” belkach audytorijnych: punktowo, na końcach żebra pionowego, a z tyłu liniowo na ciągłym wsporniku panela elewacyjnego. W trakcie eksploatacji obiektu zaczęły odspajać się fragmenty otuliny, co stanowiło zagrożenie dla użytkowników obiektu. Stwierdzono, w miejscach odspojen, bezpośrednie oparcie płyty poziomej na wsporniku ściany, zamiast na projektowanej liniowej podkładce elastomerowej o przekroju 4×40 mm. Poniżej przedstawiono przypadki wysunięcia się podkładki ze złącza, oraz przypadki zastosowania innych punktowych podkładek o większej grubości.



Rys. 13. Odspojenie otuliny w wyniku bezpośredniego oparcia płyty na wsporniku, [źródło własne]



Rys. 14. Wysunięta ciągła podkładka elastomerowa, [źródło własne]



Rys. 15. Zastosowanie punktowych podkładek o większej wysokości, [źródło własne]

Niezależnie od niewątpliwych błędów montażowych, polegających na niereagowaniu na występujący problem różnic wysokości wspornika i płyty, trzeba stwierdzić, że w tym przypadku projektant zakładając oparcie na 4 mm grubości ciągłej podkładce elastomerowej nie uwzględnił obowiązujących normowo tolerancji produkcyjnych i montażowych, oraz faktu, że przy stosunkowo niewielkim obciążeniu ugięcia liniowej podkładki elastomerowej będą bliskie zeru i w żaden sposób nie skompensują występujących różnic.

W tym przypadku należało zastosować punktowe podparcie na elastomerach oraz wypełnienie pozostałej przestrzeni materiałem elastycznym (wełna, pianka), lub tradycyjne oparcie na zaprawie „na wycisk”, z usunięciem zaprawy z krawędzi złącza na grubość otuliny.

4. Uszkodzenia głowic słupów

Na przykładzie usterki głowicy prefabrykowanego słupa żelbetowego zostanie przedstawiony problem właściwego doboru zbrojenia w tej części elementu. Problem opisano w oparciu o stwierdzone zarysowanie głowicy słupów w obiekcie typu halowego. Na prefabrykowanych słupach oparto ciężki dach składający się z prefabrykowanych dźwigarów strunobetonowych rozpiętości ~20 m. Na dźwigarach spoczywają prefabrykowane płatwie strunobetonowe, których rozpiętość sięga 24 m. Pokrycie dachu stanowi blacha trapezowa o wysokim profilu. Powyższe aspekty, biorąc pod uwagę warstwy izolacyjne zadaszienia, przyjęte obciążenia technologiczne i klimatyczne, powodują, że reakcja przekazywana z pojedynczego dźwigara przekracza 1MN.

W głowicy słupów przewidziano pręty wytykowe, na które osadzone były dźwigary strunobetonowe wyposażone w karbowane rury stalowe „robusta”. Dźwigary oparto na podkładkach elastomerowych, a rury podczas montażu wypełniono zaprawą niskoskurczową. Zarysowanie głowicy pokazane na rys. 16 stwierdzono podczas przeglądu technicznego eksploatowanego obiektu. Jako, że poziom oparcia dźwigarów znajduje się na rzędnej +7.5 m, rysy widoczne były dopiero z bliskiej odległości, niezauważalne z poziomu posadzki obiektu.

Jedną z branych pod uwagę przyczyn uszkodzenia zakładała niepoprawną pracę dylatacji obiektu, tym samym nadmierne siły poziome w dźwigarach wywołane obciążeniem termicznym, co w konsekwencji mogłoby prowadzić do powstania sił rozszczepiających głowicę wynikających ze ścinania wytyków łącznikowych. Oględziny obiektu wykazały jednak, że dylatacje zostały wykonane zgodnie z projektem, a materiały wykończeniowe nałożone na styku dźwigarów przy dylatacyjnych, mimo wykorzystania preparatów elastycznych, uległy spękaniu, co świadczy o wzajemnym przesuwie obu elementów konstrukcyjnych znajdujących się po przeciwnych stronach dylatacji. Inną przyczyną mogło być oddziaływanie wiatru na ścianę szczytową. Reakcja pozioma, z górnej części słupów ściany szczytowej, rozkładana byłaby przez dźwigary na pozostałe słupy obiektu w zależności od sztywności poszczególnych elementów. W obrębie węzła słup pośredni/dźwigar siła pozioma transferowana byłaby przez wytyki, rozciąganie głowicy i przekazywana przez drugą parę wytyków na kolejny dźwigar.

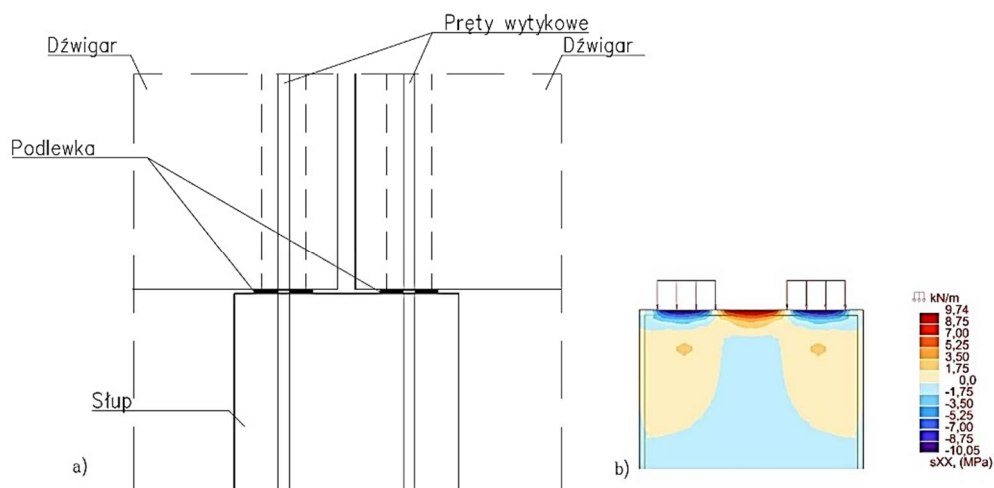
Taki schemat pracy faktycznie występuje, jednak siła ta ma stosunkowo niewielką wartość, co więcej, zarysowaniu uległy również głowice słupów przed dylatacyjnych, które nie pełnią już roli transferującej siłę poziomą. Kolejną rozważaną przyczyną mogło być oddziaływanie temperatury na etapie montażu konstrukcji. Jednak w tym wypadku, mało prawdopodobne wydaje się wyczerpanie założonej wielkości dylatacji i w konsekwencji zarysowanie słupa przed dylatacyjnego jak również przed skrajnego.



Rys. 16. Widoczne zarysowanie głowicy słupa. Rysa w okolicy środka oparcia dźwigara i mniejsze w okolicy środka szerokości słupa, [źródło własne]

Rzeczywistą przyczynę zarysowań głowicy uzyskano po analizie dokumentacji rysunkowej projektu wykonawczego. Projekt wykonano w oparciu o polskie normy. Norma [2], przy wymiarze poprzecznym przekroju większym niż 450 mm (z czym mamy tu do czynienia) nakłada obowiązek stosowania strzemion 4-ciętych w rozstawie uzależnionym od średnicy wkładek zbrojenia głównego. W tym przedmiotowym projekcie otrzymujemy wymóg strzemion o minimalnej średnicy 5 mm, w rozstawie co 375 mm, a dla zagęszczenia na końcu słupów prefabrykowanych rozstaw należy zmniejszyć do 125 mm. W rzeczywistości zastosowano wkładki $\phi 6$ w rozstawie 100 mm, co pozornie spełnia powyższe wymogi. Problem polega jednak na tym, że warunek strzemion 4-ciętych spełniono jedynie dla jednego z kierunków przekroju słupa. Strzemiona 4 cięte zastosowano prostopadłe do rozpiętości dźwigarów. Co więcej, zgodnie z dokumentacją, pierwsze strzemie znajduje się w odległości 100 mm od głowicy. Dodatkowo w tym przypadku mamy do czynienia z oparciem na głowicy słupa dwóch dźwigarów, tym samym otrzymujemy dwa pola przekazania obciążeń przez podkładki elastomerowe (rys. 17b). Efekt ten szerzej omawiany jest w [3]. Praca głowicy słupa, w nieco spłaszczonej mapie pola naprężeń, upodabnia się do pracy końców belek kablobetonowych, co z kolei powoduje zjawisko rozczepiania czoła belki, w tym przypadku głowicy słupa. Reasumując, każda inicjacja rysy na czole głowicy słupa może zamknąć się dopiero po napotkaniu zbrojenia poprzecznego. W tym przypadku zbrojenie takie jest bardzo nisko i posiada niewielki przekrój, co skutkuje dużym rozwarciem i długością rysy.

Sposobem naprawy usterki i przeciwdziałaniu ewentualnej przyszłej awarii jest w takim przypadku odtworzenie niezastosowanego zbrojenia poprzecznego poprzez wprowadzenie zewnętrznej obejmy stalowej lub wykonanej z mat węglowych.



Rys. 17. Oparcie dźwigarów na głowicy słupa: a) schematyczny detal, b) rozkład naprężeń w głowicy – „+” oznacza rozciąganie (Autodesk Robot Structural Analysis 2014), [źródło własne]

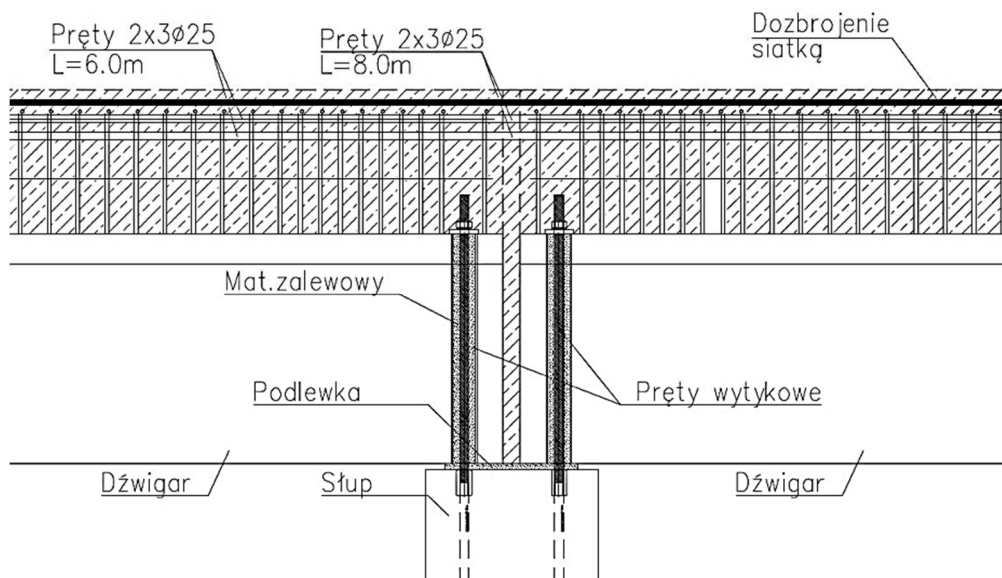
Podobne, jak w powyżej opisanym przykładzie, zarysowanie głowic słupów, wystąpiło na jednym z budynków parkingu nadziemnego. Obrazuje to rys. 18.



Rys. 18. Widoczne zarysowanie głowicy słupa. Rysy na przedłużeniu końców dźwigarów prefabrykowanych, oraz pomniejsze zarysowania otuliny, [źródło własne]

W obiekcie, na głowicach słupów ostatniej kondygnacji oparto prefabrykowane dźwigary strunobetonowe rozpiętości 10 m. Na dźwigarach ułożono płyty prefabrykowane rozpiętości ~15 m. Dźwigary ze słupami połączono identycznie jak w powyższym przykładzie, za pomocą wytyków i rur robusta wypełnianych na montażu zaprawą niskoskurczową. W tym przypadku pomiędzy głowicą słupa, a dźwigarem zastosowano zaprawę wysokiej wytrzymałości. Detal oparcia dźwigarów na głowicy słupa pokazano na rys. 19. Projekt przewidywał wykonanie na

elementach prefabrykowanych nadbetonu, następnie warstw izolacyjno-poślizgowych i nawierzchni jezdnych. W nadbetonie belek zaprojektowano ułożenie zbrojenia wieńcowego. Analiza przyczyn zarysowania wykluczyła niedostateczne zagęszczenie zbrojenia poprzecznego. Projekt zakładał strzemia 4-cięte w obu kierunkach z prętów średnicy $\phi 10$ mm. Rozstaw strzemiń w części głowicowej wynosił 80–90 mm, dodatkowo w głowicy zastosowano wsuwki pionowe średnicy 16 i 20 mm. Przyczyny zarysowań okazały się dwie. Jedna wynikała z błędu montażowego, wypełnienia podlewki pod dźwigar do samej krawędzi słupa, co skutkowało spękaniami otulenia. Przyczyna zarysowania obserwowanego na powierzchni prostopadłej do rozpiętości dźwigarów w środkowym przekroju słupa była trudniejsza do identyfikacji. Z uwagi na nieuniknione uciąganie belek (zbrojenie wieńcowe) w fazie eksploatacji oczekiwano by raczej ściskania, a nie rozciągania głowicy słupa w tym kierunku. W rzeczywistości przyczyna powodująca zarysowania głowicy prostopadłe do kierunku rozpiętości dźwigarów, wynikała ze zmian w układzie warstw wykończeniowych. Główny wykonawca podjął decyzję o rezygnacji z warstw jezdnych, zwiększając jednocześnie w pewnym stopniu grubość warstwy nadbetonu zespolonego z konstrukcją. Jako warstwę izolacji przeciwwodnej potraktowano posadzkę żywiczną. Tym samym schemat uciągniętych belek mógł się wytworzyć jedynie pod obciążeniem zmiennym, które, w tym wypadku, miało charakter sporadyczny (ostatni, najmniej uczęszczany poziom parkingu). W efekcie przy dużym nasłonecznieniu na najwyższy poziom konstrukcji oddziałuje temperatura z dużym, niezakładanym w projekcie, gradientem. Górne włókna belek zespolonych (prefabrykat strunobetonowy wraz z wykonanym nadbetonem) ulegają wydłużeniu w stosunku do włókien dolnych elementu. Belki mają tendencję do wygięcia w górę. Przytoczone zjawisko pokazano na rys. 20. Połączenie końców belek z głowicą częściowo uniemożliwia taką pracę. Należy tu podkreślić, że oprócz połączenia na wytyki wykonano też oparcie dźwigarów na wysokowytrzymałych zaprawach, co zwiększa przeniesienie sił poziomych w wyniku tarcia. W efekcie powyższego zarysowaniu ulega element najsłabszy – czyli, w tym przypadku, głowica słupa.



Rys. 19. Detal oparcia dźwigarów na słupie, [źródło własne]



Rys. 20. Deformacja pasma dylatacyjnego dźwigarów zespolonych, poddanych działaniu gradientowi temperatur. Brak skrępowania punktów podparcia dźwigarów na głowicach słupów, [źródło własne]

Jako system naprawy głowic wykorzystano opaski z mat węglowych spinające całą głowicę. Naprawę dostosowano do warunków atmosferycznych. Wykonano ją tak, że w pierwszej kolejności nałożono wzmocnienia, a następnie wypełniono istniejące zarysowania iniekcyjnie żywicą.

5. Podsumowanie

W obiektach wznoszonych w technologii prefabrykowanej zwrócenie uwagi na szczegóły i detale ma jeszcze większe znaczenie niż w przypadku pozostałych typów konstrukcji. Wychwycenie geometrycznych kolizji uniemożliwiających wykonanie elementu zgodnie z założeniami projektanta, zastosowanie w odpowiednim miejscu nawet pojedynczego pręta niewielkiej średnicy, zwrócenie szczególnej uwagi na wykonawstwo miejsc newralgicznych oraz bezwzględne przestrzeganie nietypowych wymogów zapisanych w instrukcji składowania i montażu elementów ochrania użytkowników obiektów przed powstaniem sytuacji, której konsekwencją może być awaria części lub całości budynku.

Literatura

1. PN-EN 1992-1-1:2008. Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1–1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
2. PN-B-03264:2002. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie
3. Ajdukiewicz A., Memes J., Konstrukcje z betonu sprężonego, Polski Cement, 2004.

POTENTIAL RISK OF FAILURE ON PREFABRICATED CONSTRUCTION BUILDING WITH SELECTED EXAMPLES

Abstract: Nowadays, there are construction sectors which take full advantages of prefabrication technology. Construction of these buildings can be divided in different stages. At any stage due to accidental, design or production errors failure may occur. A dangerous external factor that affects prefabricated elements adversely is the negative temperature. It contributes to accumulate freezing water, which can lead to bursting the element. Strongly susceptible by destructive action of frozen water are hollow core slabs. Places which are not usually treated under consideration are secondary corbels. Apparently less important, may fail and compromise whole construction. Inappropriate reinforcement design is also unsafe for top of the columns. They are one of the principal element, to pay attention during the designing. This paper discusses the causes of failure and how to repair it on selected examples.

Keywords: precast concrete, frozen water, failure, corbel, top of the column, reinforcement