

**XXIV**XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna
Szczecin-Międzyzdroje, 26-29 maja 2009**awarie budowlane**Dr inż. SZCZEPAN LUTOMIRSKI, *s.lutomirski@il.pw.edu.pl*Dr inż. JAN RĄCZKA, *j.raczka@il.pw.edu.pl*Dr inż. CEZARY AJDUKIEWICZ, *c.ajdukiewicz@il.pw.edu.pl*

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

UPROSZCZONY MODEL OBLICZENIOWY JAKO PRZYCZYNA BŁĘDNEJ OCENY ZARYSOWANIA KONSTRUKCJI

SIMPLIFIED COMPUTATIONAL MODEL AS THE CAUSE OF WRONG CRACKING ESTIMATION

Streszczenie W referacie omówiono uszkodzenia wieloprzęsłowego żelbetowego podciągu, powstałe na skutek występowania obciążeń pośrednich nieuwzględnionych w projekcie. Podciąg sześcioprzęsłowy został ukształtowany w taki sposób, że obciążenie statyczne i termiczne wywołują jego skręcanie. Dla oszacowania skręcania podciągu wykonano obliczenia statyczne fragmentu przestrzennej konstrukcji programem COSMOS.

Abstract The paper presents discussion on damage in a multi span reinforced concrete girder. The damage was caused by the indirect loading not included in the design. The considered continuous girder, consisting of six spans, was designed in the way resulting in torsion under static and thermal loads. The torsion was estimated based on the static analysis using program COSMOS for the three dimensional model of the part of the structure.

1. Wprowadzenie

Powstawanie rys jest częstym zjawiskiem występującym w elementach konstrukcji żelbetowych. Najczęściej przyczyną ich powstawania są: skurcz, zmiany temperatury, w dalszej kolejności wadliwe wykonanie, niewłaściwe zabezpieczenie oraz możliwe przeciążenie konstrukcji. Użytkownicy konstrukcji żelbetowych przyjmują zjawisko powstawania rys jako objaw niepokojący i często zwracają się do specjalistów o ekspertyzę dotyczącą stanu konstrukcji oraz określenie przyczyn powstawania rys. Tak też było w przypadku omówionej w referacie sytuacji zarysowania podciągów w garażu pod budynkiem znanej warszawskiej firmy. Po bliższym zapoznaniu się z problemem stwierdzono, że przyczyną powstania rys było nieuwzględnienie w obliczeniach możliwości skręcania podciągu wynikające z jego ukształtowania.

W referacie przedstawiono efekty przyjęcia przez projektantów obiektu, uproszczonego modelu obliczeniowego w postaci belki wieloprzęsłowej. Model ten nie tylko nie uwzględniał znacznej wysokości podciągu w stosunku do jego rozpiętości ($l/h < 5$), ale również nie uwzględniał jego ukształtowania, które w naturalny wymuszało skręcanie wywoływane obciążeniami bezpośrednimi i pośrednimi [1], [2]. Szczególnie te ostatnie w postaci równomiernego przyrostu temperatury stropów znajdujących się na różnych poziomach i w różnych warunkach temperaturowych wywoływało znaczne skręcanie.

2. Krótki opis konstrukcji obiektu

Garaż podziemny, wybudowany w 1998r znajduje się pod budynkiem biurowym, parkingiem naziemnym oraz trawnikiem. Kształt garażu jak i jego wymiary są nieregularne. Maksymalna jego szerokość wynosi ok. 33,5 m, maksymalna długość ok. 100 m. Wzdłuż długości wykonano jedną dylatację. Wysokość w świetle posadzki i stropu garażu jest zróżnicowana w zależności od miejsca i wynosi od 3,08 m do 4,0 m. Całkowita powierzchnia pomieszczeń podziemnych wynosi ok. 2300 m². Widok północnej części garażu przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Widok północnej części garażu

Konstrukcja garażu jest żelbetowa, w przeważającej części słupowo – płytowa. Jego podziemną część zaprojektowano z betonu klasy B30, o stopniu mrozoodporności F200 i stopniu wodoszczelności W6. Beton zbrojono stalą w gatunkach AIII-(34GS) i A0-(St0S).

Układ nośny stanowią: płyta fundamentowa, monolityczne ściany zewnętrzne, trzon wewnętrzny, słupy wewnętrzne i stropy o konstrukcji: płytowo-słupowej, płytowej i płytowo-żebrowej z podciągami. Podciągi są jednoprzęsłowe lub wieloprzęsłowe, a ich podporami są ściany zewnętrzne garażu i słupy. Płyty stropowe garażu połączone są z podciągami w różnych poziomach. Z jednej strony górne powierzchnie płyty stropowej o grubości 26 cm i podciągu o wysokości 132 cm są na jednym poziomie. Z drugiej strony podciągu górna powierzchnia płyty znajduje się 56 cm poniżej górnej powierzchni podciągu. Przyczyną takiego połączenia było konieczność wyrównania poziomu terenu i poziomu posadzki w budynku po wykonaniu izolacji przeciwwilgociowych i termicznych.

Rzeczywista konstrukcja nośna budynku i garażu podziemnego jest typu słupowo-płytowego i płytowo-tarczowego. Praca tego typu konstrukcji jest bardziej złożona od pracy układu prętowego, który przyjęto w projekcie garażu jako schemat obliczeniowy.

3. Opis zaobserwowanych uszkodzeń garażu

Wśród typowych rys powstałych w garażu można wyróżnić następujące: pionowe rysy powstałe w ścianach przy ich połączeniu z płytą fundamentową, rysy w niektórych miejscach stropu, pęknięcia i zarysowania podciągnięć w strefie przypodporowej i przeszłowej.

Rysy w ścianach garażu podziemnego mają jednakowy charakter. Cechami wspólnymi tych rys jest to, że są prawie pionowe. W dolnej części przy płycie fundamentowej rysy te są najbardziej rozwarłe, a w górnej zaś ich rozwartość maleje. Pod stropem garażu rysy te często zanikają. Odległości między sąsiednimi rysami na danej ścianie są zbliżone. Najmniejszy rozstaw tych rys jest rzędu 0,5 m, a największy do ok. 10 m. Prawie jednakowy rozstaw rys na danej ścianie wskazuje na to, że nie zachodzi tutaj przypadek nierównomiernego osiadania płyty fundamentowej. Bowiem przy nierównomiernym osiadaniu płyty, odstęp między rysami byłyby nieregularne i występowałyby ich zagęszczenie w pobliżu miejsca maksymalnych osiadań. Ponadto takie rysy pochylone byłyby w kierunku miejsca większego osiadania i nie byłyby pionowe.

Rysy w płytach stropowych występują sporadycznie (zaobserwowano tylko pięć rys). Przyczyny powstania rys w płytach stropowych i w ścianach garażu są typowe i opisywane są w referatach i artykułach np. [3], dlatego też nasze rozważania ograniczymy do analizy rys powstałych w wybranym podciągu.

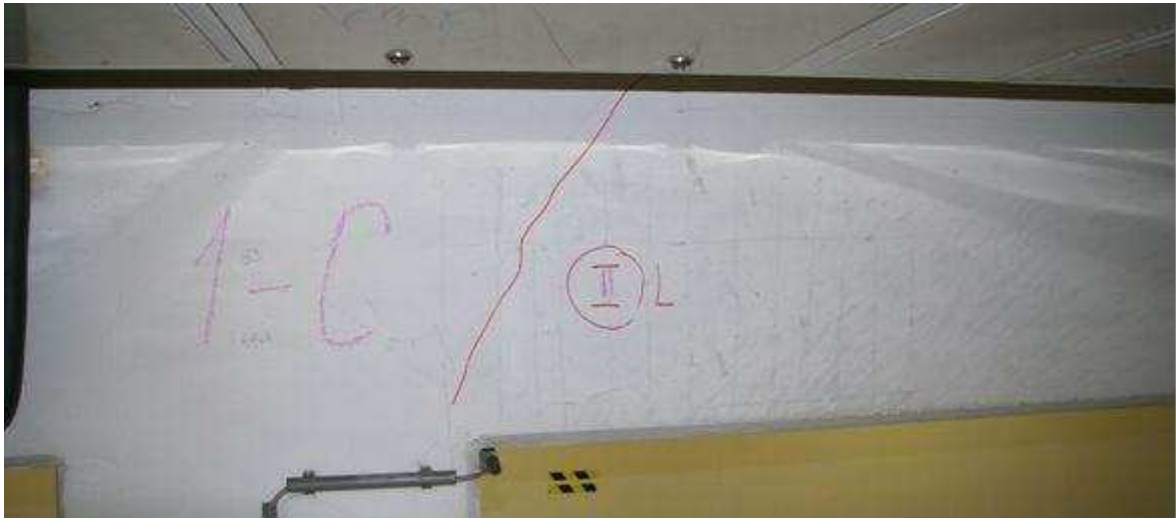
Przykładowe rysy na płaszczyźnie bocznej wybranego podciągu (zaznaczone kolorem czerwonym) zostały przedstawione na rys. 2. W podciągu tym powstały po dwie rysy przy każdym słupie. Rysy zaobserwowano tylko z jednej strony podciągu, tj. od strony, gdzie powierzchnie górne płyty i podciągu pokrywają się. Po drugiej stronie, gdzie płyta „wchodzi” w podciąg w połowie jego wysokości takich rys nie zaobserwowano. Rysy te są odchylone od pionu pod kątem ok. 20° ÷ 45° w kierunku środka przęsła. Zasięg ich wynosi ok. 1/3 wysokości belki, a rozwartość ok. 0,3 mm. W skrajnych przęsłach podciągu sześcioprzęsłowego powstania rys nie zaobserwowano.

Pojawienie się rys w konstrukcji może budzić mniej lub więcej uzasadnione obawy o jej bezpieczeństwo i pytanie czy rysy te nie świadczą o bliskim wyczerpaniu się jej nośności. Z drugiej strony zjawiska powstawania rys nie należy traktować jako patologicznego, gdyż konstrukcje żelbetowe wymiaruje się na szerokość rozwarcia rys, czyli zakłada się, że takie rysy w trakcie użytkowania konstrukcji mogą powstać. Przyczyny powstania rys są bardzo różnorodne, czasami nawet trudne do ustalenia. W licznych jednak przypadkach na podstawie morfologii rys (układu, kształtu, rozwartości) można wnioskować o przyczynach ich powstania.

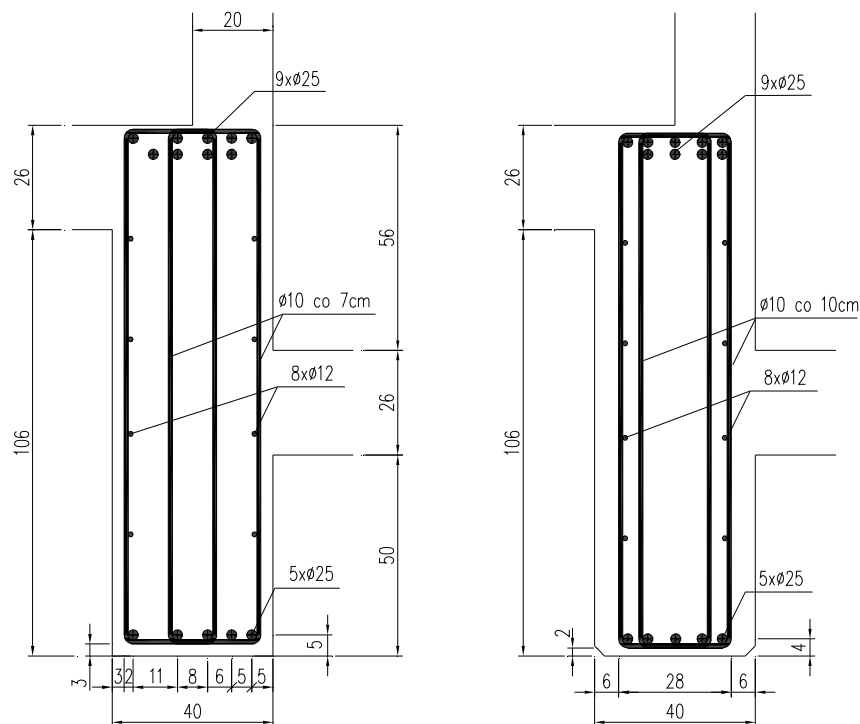
Na rys. 3 przedstawiono przekrój analizowanego podciągu z zaprojektowanym układem prętów zbrojeniowych i układem prętów wynikających z przeprowadzonych przez nas badań i odkrywek. Przekrój poprzeczny podciągu jest grubościenny rozwinięty. Podciąg o prostokątnym przekroju poprzecznym i wymiarach 40×132 cm, połączony jest monolitycznie z dwiema płytami stropowymi o grubości 26 cm. Płyty stropowe połączone są z podciągiem niesymetrycznie. Z jednej strony powierzchnie górne płyty i podciągu pokrywają się, z drugiej zaś płyta „wchodzi” w podciąg w połowie jego wysokości.

W wyniku wykonanych odkrywek w podciągu [4] zaobserwowano średnio na długości 54 cm 12-cie strzemieszki dwuramiennych, podczas gdy wg projektu powinno ich być 15. Strzemieszki ułożono na pierścieniowych podkładkach dystansowych o wysokości 20 mm. Rozstawy strzemieszek są nieregularne, a maksymalna odległość między strzemieszkami czteroramiennymi w tych odkrywkach wynosi 11 cm (wg projektu powinno być 7 cm). Projektowana otulina strzemieszek powinna wynosić 3 cm, natomiast w odkrywkach otulina strzemieszek na dole podciągu wynosi ok. 2 cm, a na pionowych ramionach strzemieszek ok. 5,6 cm. Strzemieszki wykonano ze stali żebrowanej o średnicy $\varnothing 10$ mm. Z analizy rozkładu zbrojenia wynika, że projektanci nie uwzględ-

dnili skręcania, o czym świadczy niewielka liczba prętów podłużnych przyjęta po obwodzie przekroju i konstrukcja strzemion jest bez wymaganego normowego zakładu.



Rys. 2. Rysy ukośne w połączeniu podciagu ze słupami



Rys. 3. Projektowany układ prętów (z lewej) i układ prętów wynikający z badań (z prawej), [4]

4. Analiza stanów granicznych wybranego podciągu

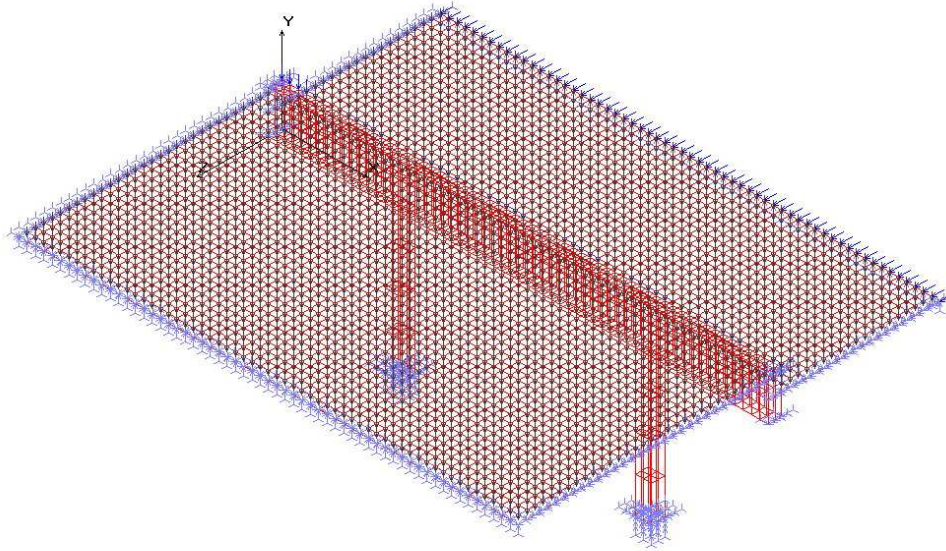
Teoria konstrukcji prętowych dobrze się sprawdza w wypadku analizy elementów, w których stosunek wysokości do rozpiętości jest mniejszy od $1/10$. W analizowanym podciągu, stosunek ten wynosi przy największej rozpiętości przeszła około $1/5$. W takich wypadkach w wynikach analizy mogą powstać znaczne błędy zwłaszcza, że w analizie płaskich układów prętowych wieloprzęsłowych trudno jest uwzględnić skręcanie.

Analizowany podciąg został ukształtowany przez projektantów w taki sposób, że obciążenia statyczne ze ścian przekazywane są nieosiowo i wywołują jego skręcanie. Ponadto przy tym ukształtowaniu istotny wpływ na pracę podciągu mają obciążenia pośrednie, czyli termiczne i skurczowe. Jest to wynikiem tego, że płyta stropowa z jednej strony podciągu jest połączona z jego górną częścią, a z drugiej strony jest zamocowana w jego środku. W wyniku tego podciąg obciążony jest parą sił działającą w płaszczyźnie przekroju powodując jego skręcanie.

Do wymiarowania przekroju podciągu projektanci obiektu zastosowali uproszczony schemat obliczeniowy w postaci belki ciągłej wieloprzęsłowej. Taki schemat przyjęliśmy również w naszych obliczeniach wstępnych. W wyniku tych obliczeń, przy przyjęciu obciążenia równomiernego stałego i zmiennego zgodnego z projektem stwierdzono, że nośność podciągów na zginanie i ścinanie jest przekroczone około 25%. W kolejnym analizowanym wypadku tj. przy przyjęciu lokalnego przekazywania obciążeń i przy przyjęciu rozpiętości efektywnych podciągu [5], [6] stwierdzono, że nośność na zginanie jest przekroczone w przeszle o 13%, a nad podporą o 6%. W obliczeniach tych nie uwzględniono współczynnika redukcji obciążenia zmiennego, który zmniejszyłby nieco przekroczenie obliczeniowej nośności na zginanie.

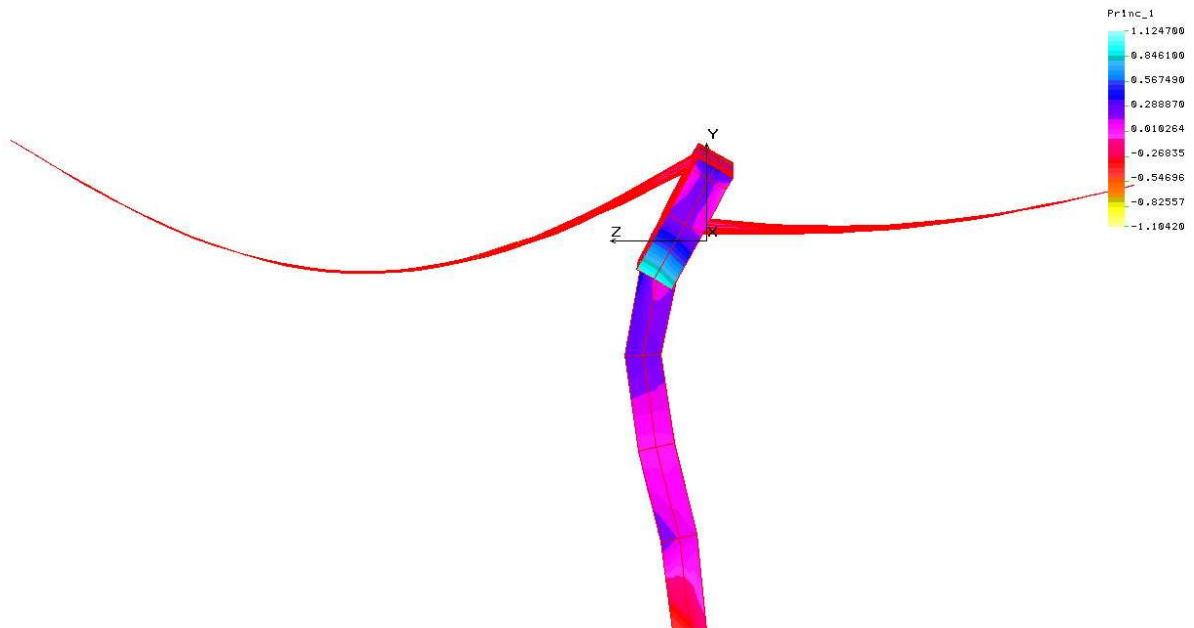
W celu oszacowania wpływu obciążeń wywołujących skręcanie podciągu autorzy referatu wykonali obliczenia numeryczne programem COSMOSM [7] przyjmując bardziej złożony model obliczeniowy obiektu. Z konstrukcji garażu „wycięto” do analizy fragment wieloprzęsłowego podciągu z połączonymi z nim płytami położonymi na różnych wysokościach.

Wycięty fragment zawiera jedno pełne przęsło podciągu wraz z dołączonymi płytami stropowymi i dwie połowy sąsiadujących przęseł podciągu. Podział analizowanej konstrukcji na elementy skończone ze schematycznie pokazanymi warunkami brzegowymi przedstawiono na rys. 4. Wzdłuż długości płyt przyjęto połączenie płyty ze ścianą jako przegubowo-nieprzesuwne, zaś w poprzek utwierdzenie z przesuwem pionowym. Słupy przyjęto jako utwierdzone w płycie fundamentowej.



Rys. 4. Fragment analizowanej konstrukcji

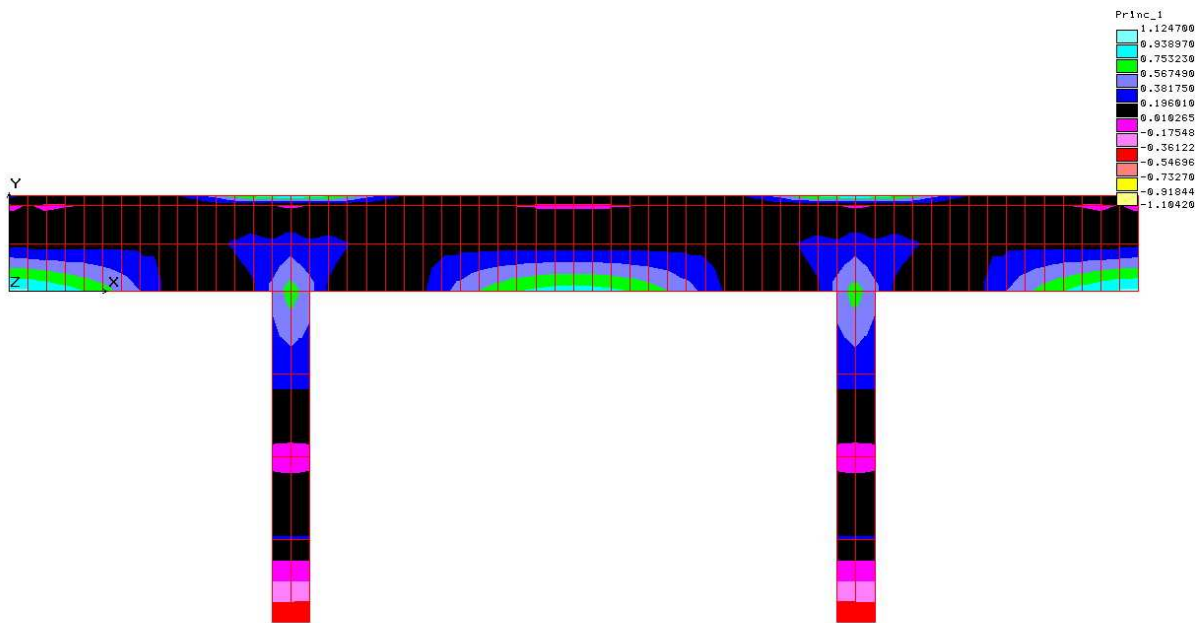
Rozpatrzono kilka przypadków obciążenia działającego na podciąg i płyty z nim współpracujące. Z analizowanych przypadków przedstawiono wyniki obliczeń tylko tych, w których obciążenia wywoływały znaczące skrećanie podciągu. Wyniki te przedstawiono w postaci map warstwicznych naprężeń głównych i postaci powierzchni odkształconej analizowanego układu (rys. 5÷7).



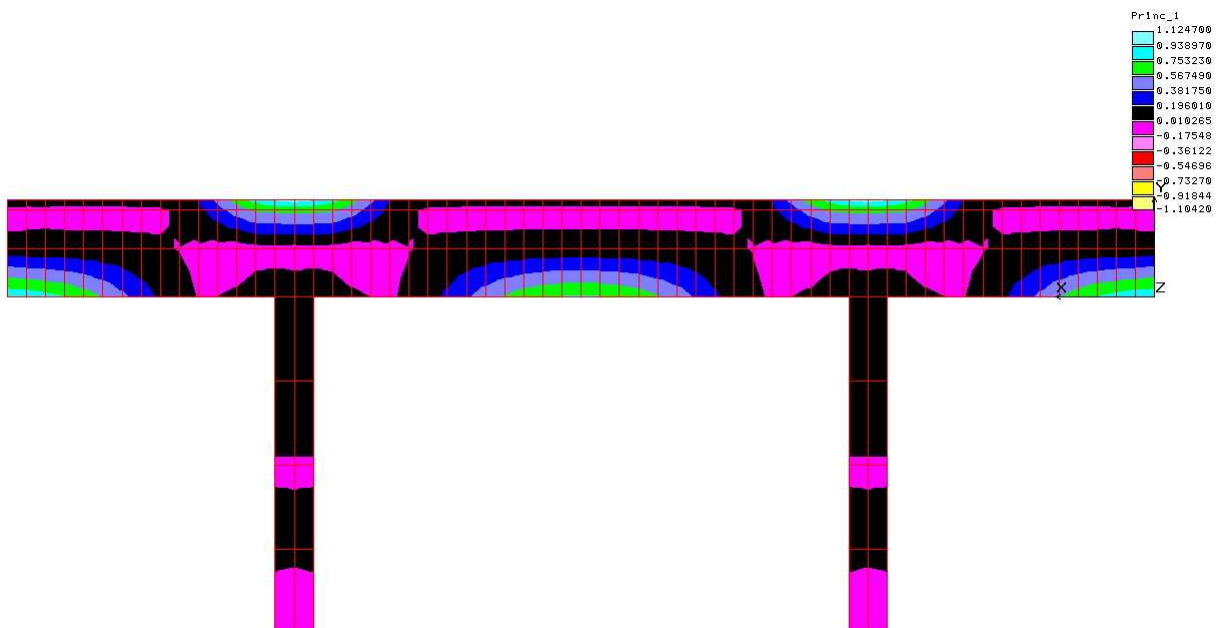
Rys. 5. Postać odkształcona przyjętego do analizy układu oraz naprężenie główne σ_1 wywołane obciążeniem stałym, zmiennym i równomiernym wzrostem temperatury

Na rys. 5 przedstawiono postać odkształconą układu oraz plan warstwiczny naprężeń głównych σ_1 powstałych w wyniku równomiernego obciążenia płyt, niesymetrycznego obciążenia podciągu oraz równomiernej zmiany temperatury o 20° . Obciążenia przekazywane ze ścian budynku wywołują skręcanie podciągu i mimośrodowe ściskanie słupa. W wyniku tych zjawisk ujawniają się różnice w naprężeniach głównych po obu stronach podciągu i słupa.

Rys. 6 i 7 dotyczą sumarycznego działania obciążeń stałych, zmiennych i termicznych na powierzchniach bocznych podciągu. Na rys. 6 plan warstwiczny naprężenia σ_1 dotyczy strony podciągu, gdzie powierzchnia górna płyty pokrywa się z górną powierzchnią podciągu.



Rys. 6. Plan warstwiczny naprężenia głównego σ_1 na powierzchni bocznej podciągu od łącznego działania obciążeń statycznych i termicznych od strony płyty połączonej u góry podciągu



Rys. 7. Plan warstwiczny naprężenia głównego σ_1 na powierzchni bocznej podciągu od łącznego działania obciążeń statycznych i termicznych od strony płyty połączonej w środku podciągu

Na rys. 7 natomiast powierzchnia górna płyty znajduje się w pobliżu środka wysokości podciągu. Widoczny jest wyraźny efekt skręcania podciągu, co ujawnia się w postaci różnicy naprężenia głównego σ_1 na powierzchniach bocznych podciągu. Naprężenia te po stronie podciągu, w którym górna powierzchnia płyty pokrywa się z powierzchnią górną podciągu, w pobliżu połączenia ze słupem są rozciągające w przedziale od 2 do 6 MPa, gdy natomiast po stronie przeciwnej podciągu naprężenia są w przedziale od -2 do $+2$ MPa (+ rozciąganie, – ściskanie). Dodatkowo wartości naprężeń powyżej wytrzymałości obliczeniowej betonu na rozciąganie powodują powstawanie rys. Takie rysy obserwujemy właśnie tylko po tej stronie podciągu, gdzie mamy większe naprężenia rozciągające (por. rys. 6).

5. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono, że podciąg został zaprojektowany tylko na obciążenia bezpośrednie z pominięciem obciążeń pośrednich i skręcania podciągu. Nieuwzględnienie tych obciążeń spowodowało w efekcie powstanie rys w podciągach. Ponadto na powstanie rys miały wpływ takie błędy jak: niewłaściwe rozstawienie strzemion, za duża otulina zbrojenia, mała liczba prętów przeciwdziałających skurczowi betonu oraz mała liczba dylatacji.

Pomimo tego naszym zdaniem obecny stan konstrukcji nie zagraża bezpieczeństwu użytkownika. Zalecono zatem prowadzenie obserwacji istniejących rys w konstrukcji we wskazanych miejscach i prowadzenie rejestracji nowych rys. W celu zmniejszenia wpływów termicznych zalecono wykonanie nowej izolacji termicznej stropu garażu.

W obliczeniach statycznych bardzo istotną sprawą jest przyjęcie odpowiedniego modelu obliczeniowego. Często przyjęcie zbyt uproszczonego modelu, pomimo uwzględnienia wszystkich obciążeń prowadzi do niewłaściwego zaprojektowania konstrukcji. Zarysowania omawianego w referacie podciągu, mają źródło w niewłaściwie przyjętym jego modelu obliczeniowym nie uwzględniającym skręcania, powstającego w wyniku niesymetrycznego połączenia płyt z podciągami. Na problem ten należy zwracać uwagę, gdyż błędy takie mogą się pojawiać przy poszukiwaniu nowych form kształtowania budowli.

Literatura

1. PN-B-02000:1982 Obciążenia budowli. Zasady ustalania wartości.
2. PN-B-02015:1986 Obciążenia budowli. Obciążenia zmienne środowiskowe. Obciążenie temperaturą.
3. Abramowicz M., Kowalski R.: Błędy związane ze schematycznym projektowaniem stropów żelbetowych. XXII Konferencja Naukowo-Techniczna Awaryjne Budowlane. Szczecin-Międzyzdroje 17–20 maja 2005 r.
4. Lutomirski Sz., Rączka J., Ajdukiewicz C.: Ekspertyza techniczna dotycząca pęknięć w konstrukcji podziemnej budynku.... Wyd. Inżynierii Lądowej PW, Warszawa 2008 r.
5. PN-B-03264:2002 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.
6. Podstawy projektowania konstrukcji żelbetowych i sprężonych wg Eurokodu 2, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2006.
7. COSMOSM v.2.95 – User's Guide.