

BUDOWA PRZEJŚCIA DLA ZWIERZĄT JAKO PRZYKŁAD SZYBKIEGO MONTAŻU PREFABRYKOWANYCH OBIEKTÓW MOSTOWYCH O ZNACZNYCH ROZPIĘTOŚCIACH

Artykuł prezentuje cały proces powstawania przejścia dla zwierząt PE-1.1 od projektowania po realizację obiektu. Szczegółowo zostało opisane modelowanie konstrukcji prefabrykowanej. Zwrócono uwagę na złożoność tego zagadnienia. Poruszono również ciekawsze aspekty montażu przejścia dla zwierząt oraz problemy, z którymi Projektant musiał się zmierzyć. Ponadto wskazano zalety stosowania systemu prefabrykowanych łukowych obiektów mostowych jako alternatywę dla innych rozwiązań konstrukcyjnych. Na koniec zwrócono uwagę na fakt, że dzięki dostępnym technologiom jest możliwe, aby prefabrykat dostosowywał się do założeń projektowych.

1. Wstęp

Powstająca droga ekspresowa S7 Gdańsk – Warszawa – Kraków ma zapewnić szybkie i sprawne połączenie komunikacyjne w ruchu międzynarodowym na kierunku północ – południe. W celu zapewnienia możliwości migracji zwierząt w rejonie terenów zalesionych, na odcinku Nidzica – Napierki zaprojektowano specjalne przejście dla zwierząt oznaczone jako PE-1.1 (rys. 1, rys. 2). Charakteryzuje się ono następującymi parametrami:

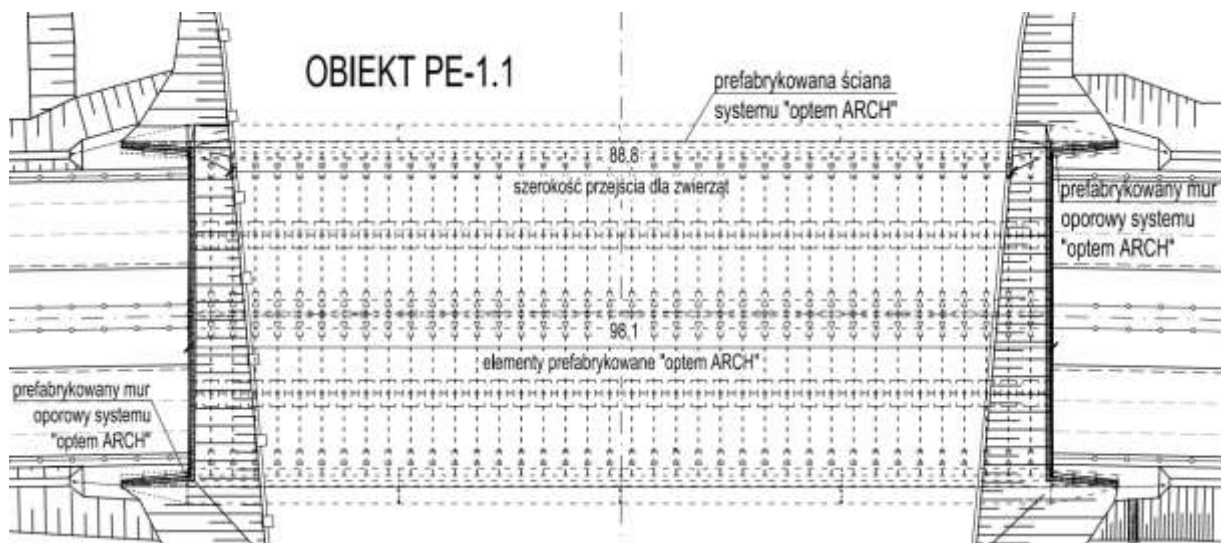
- długość obiektu: 98,06 m,
- szerokość przejścia dla zwierząt: 80 m,
- światło poziome: 2x18,51 m,
- grubość ścian bocznych: 0,5-0,60 m,
- grubość elementu górnego: 0,35 m.

Ze względu na dobre warunki gruntowe, obiekt posadowiony jest bezpośrednio. Ściany prefabrykowane ustawione są na uprzednio przygotowanych betonowych posadzkach. Odpowiednie wypoziomowanie podpór zapewnione jest przez wykonanie podlewki z ciekłego betonu. Stateczność podpory oraz jej uciążlenie, zapewnione jest przez dobetonowany od strony zewnętrznej fundament.



Rys. 1. Widok budowanego przejścia dla zwierząt PE-1.1

Ustrój nośny obiektu w przekroju podłużnym składa się z prefabrykowanych łukowych elementów żelbetowych. Prefabrykaty stanowią segmenty o szerokości 2,49 m. Każdy segment opiera się przegubowo w specjalnych gniazdach na ścianach prefabrykowanych. Poszczególne prefabrykowane segmenty są uciągłone ze sobą poprzez zamki na krawędziach elementów górnych oraz dolnych. Styki te wykonywane są „na mokro”. Dodatkowo w celu zwiększenia szczelności przejścia w miejscu oparcia łuków na podporze środkowej zaprojektowano beton węzłowy zespalający to połączenie.



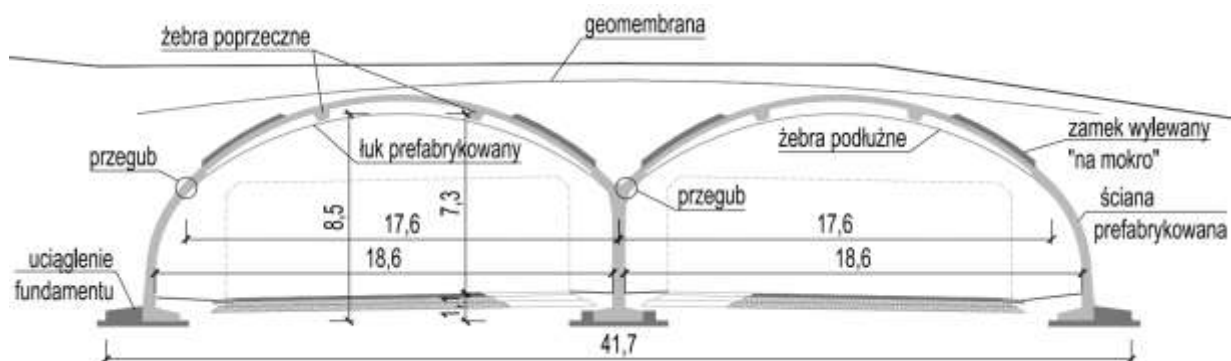
Rys. 2. Widok z góry na przejście dla zwierząt

Opisywane tu przejście dla zwierząt jest jednym z nielicznych, jeżeli nie jedynym prefabrykowanym wiaduktem tego typu w kraju. W Polsce zazwyczaj stosuje się w tego typu obiektach konstrukcje z blach falistych.

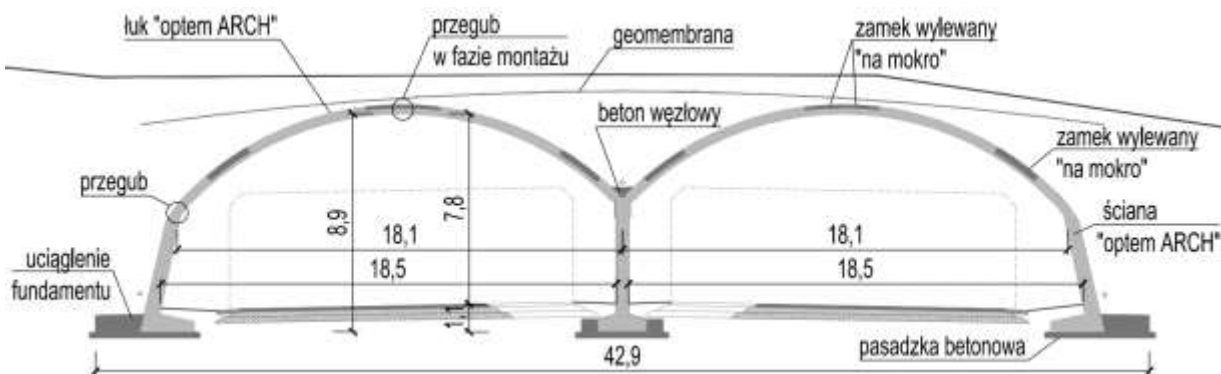
2. Etap projektowania

Dokumentację projektową przejścia dla zwierząt przygotowała firma PONT-PROJEKT z Gdańska, a generalnym wykonawcą jest STRABAG.

W projekcie pierwotnym obiekt PE-1.1 składał się z dwóch łukowych segmentów – po jednym dla każdego z kierunków ruchu (rys. 3). W drodze optymalizacji na etapie tworzenia projektu technologicznego, firma Optem, będąca dostawcą prefabrykatów optemARCH, podzieliła każdy z łuków na dwa elementy (rys. 4). Dzięki temu możliwa była rezygnacja z podłużnych i poprzecznych żeber usztywniających element. Jednocześnie ułatwiło to składowanie oraz transport elementów.

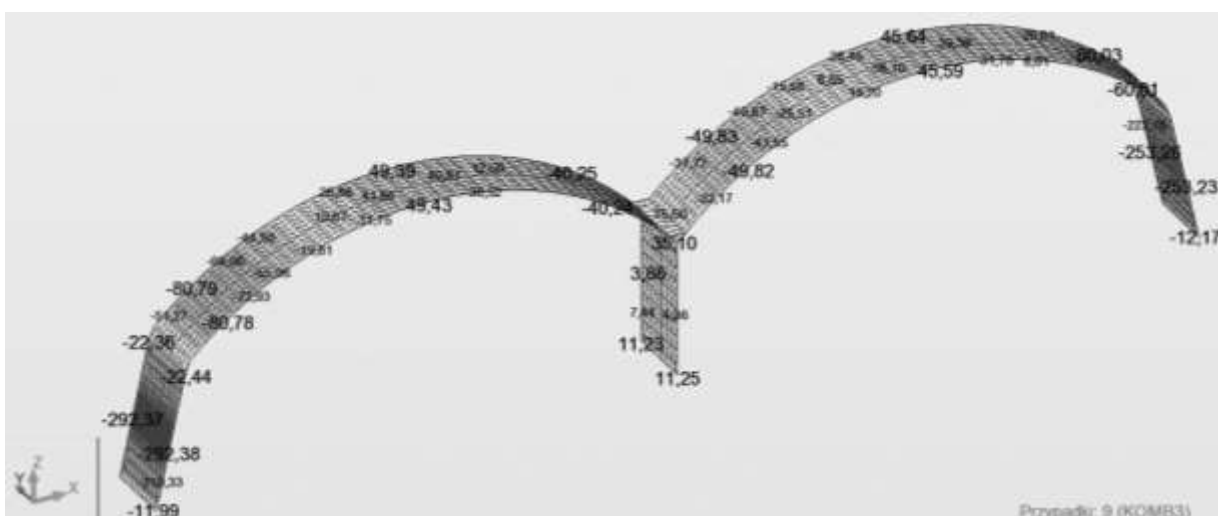


Rys. 3. Przekrój pierwotny

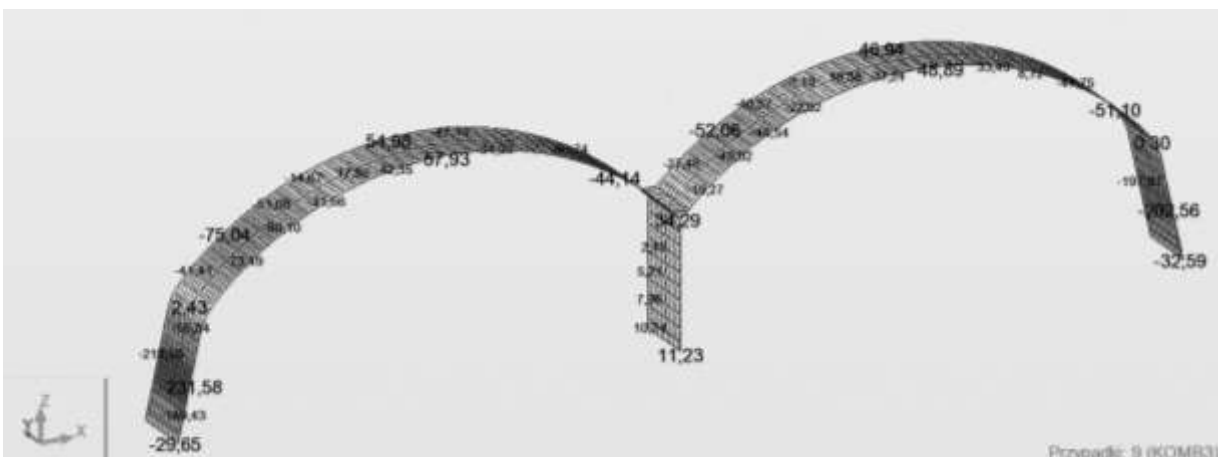


Rys. 4. Przekrój zoptymalizowany

Ponadto przeanalizowano wpływ lokalizacji oparcia łuku na podporze skrajnej na rozkład momentów zginających od obciążeń stałych. W drugim modelu położenie przegubu obniżono o 70 cm w stosunku do pierwotnej wersji obiektu. Rezultaty przedstawiono na rys. 5 i 6. Z przedstawionych poniżej map wynika, że redukcja momentu w ścianie wynosi ok 20% a przęsle 10%.



Rys. 5. Mapa momentów zginających przy pierwotnej lokalizacji przegubu od obciążeń stałych

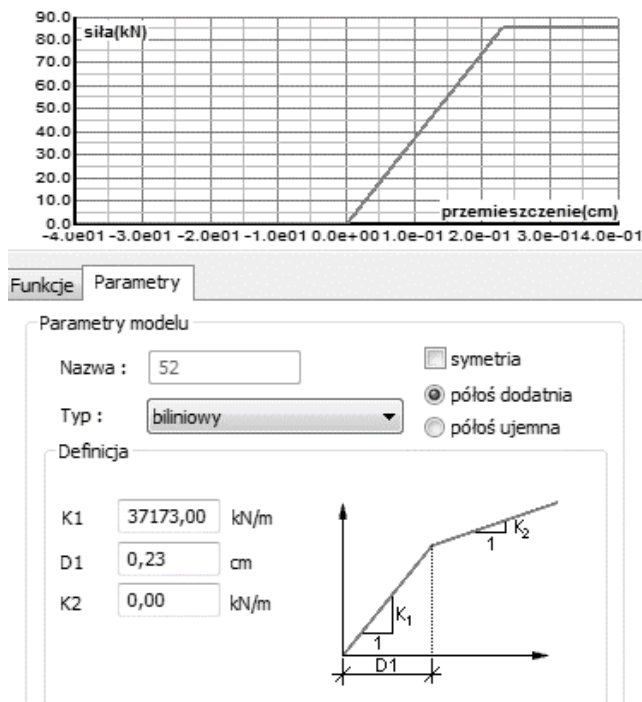


Rys. 6. Mapa momentów zginających przy obniżonej lokalizacji przegubu od obciążeń stałych

Łuki są wrażliwe na działanie naprężenia rozciągającego od obciążeń zmiennych, dlatego niezwykle istotnym jest odpowiednie dobranie ich kształtu odpowiadającemu linii ciśnień w rdzeniu przekroju. W takim przypadku w przeważającej części działają siły osiowe, ale tylko od obciążeń stałych. Natomiast od obciążeń ruchomych otrzymanie momentów zginających jest już nieuniknione.

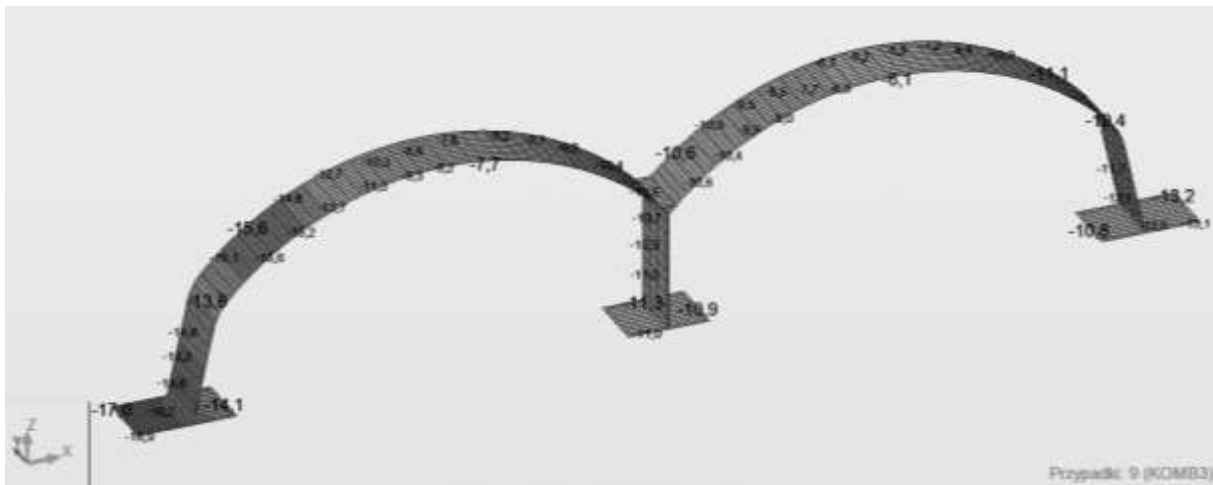
Ze względu na złożoność zagadnienia współpracy konstrukcji z ośrodkiem gruntowym, obliczenia przejścia dla zwierząt przeprowadzono niezależnie w dwóch programach inżynierskich. Pierwszy model

zakładał analizę nieliniową, gdzie jako schemat statyczny obiektu przyjęto łuk posadowiony na podłożu sprężystym Winklera. Uwzględniono przy tym współpracę konstrukcji przejścia dla zwierząt z gruntem zasyпки w postaci podpór sprężystych. Ich sztywności wyznaczono na podstawie znajomości modułu odkształcenia ogólnego gruntu zasyпки [1], [2]. Przykładową definicję podpory przedstawiono na rys. 7.



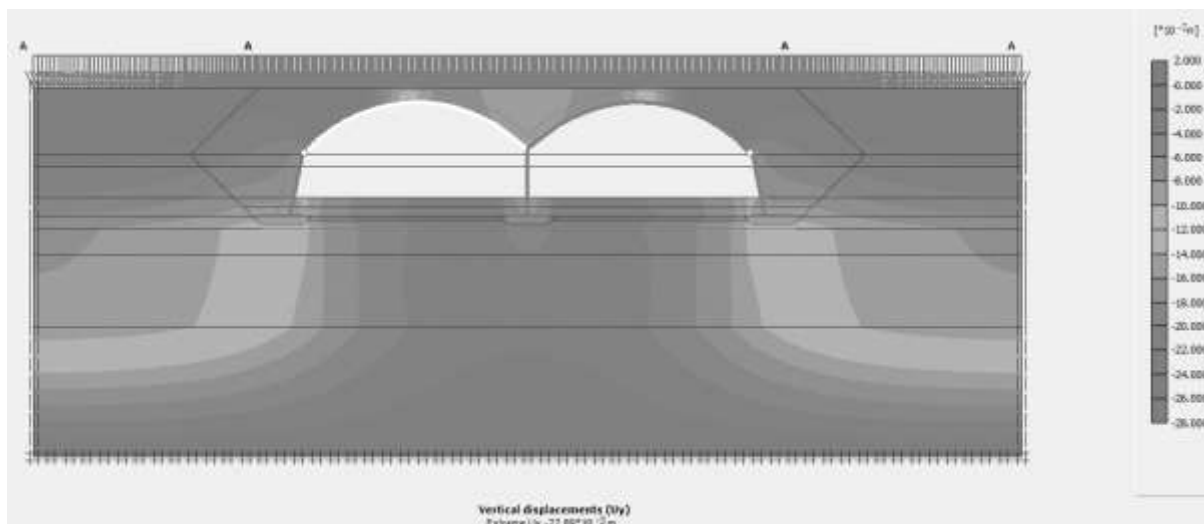
Rys. 7. Przykład definicji nieliniowej podpory sprężystej

Elementy konstrukcji zamodelowano jako sztywne powłoki MES (rys. 8). Uwzględniono poszczególne etapy budowy, stosując odpowiednie schematy statyczne obiektu oraz odpowiadające im obciążenia. Dzięki przeprowadzonym obliczeniom otrzymano siły wewnętrzne oraz przemieszczenia konstrukcji.



Rys. 8. Przeszczenia UZ (mm) – model ze sztywnymi powłokami

Drugi program umożliwiał wygenerowanie ośrodka gruntowego metodą elementów skończonych. Grunt zamodelowano jako układ elementów powierzchniowych, a przejście dla zwierząt jako układ prętowy (rys. 9). Dzięki temu było możliwe otrzymanie naprężeń oraz osiadań ośrodka gruntowego. Przeprowadzone obliczenia dały zbliżone wyniki, czym potwierdziły założenia projektowe.



Rys. 9. Przemieszczenia UZ (mm) – model ośrodka gruntowego

Ponadto na etapie projektowania rozpatrywane były następujące zagadnienia:

- Dobór optymalnej szerokości wybrań w kluczu obiektu tak, aby spełniony był:
 - warunek nośności przekroju na docisk dla stanu montażowego,
 - warunek nośności przekroju zredukowanego w stanie użytkowym.
- Zapewnienie stateczności układu jednoprzęsłowego na czas montażu, bez konieczności budowy dodatkowych rusztowań.
- Analiza przemieszczeń w poszczególnych etapach montażowych.
- Analiza odpowiedniej wysokości zasypki dla zachowania stateczności układu dwuprzęsłowego przy braku dodatkowych podparć ścian.
- Analiza stateczności górnych elementów przy braku wykonania zamków zespalających, określenie maksymalnych odchyłek montażowych ścian dla zachowania układu w równowadze.

2.1. Etap projektowania – faza montażu jednego przęsła obiektu

Poza analizą wytrzymałościową etapu docelowego konstrukcji, niezwykle ważną okazała się pierwsza faza montażowa obiektu, kiedy to zmontowane prefabrykaty stanowią układ jednoprzęsłowy. Na tym etapie stateczność podpór środkowej oraz skrajnej, a co za tym idzie całej konstrukcji, nie była zachowana. Koniecznym było wprowadzenie dodatkowych warunków brzegowych, które zapewniłyby spełnienie stanów granicznych użytkowych.

Po przeanalizowaniu wielu wariantów rozwiązań tego zagadnienia, zdecydowano się na zapewnienie stateczności układu jednoprzęsłowego na czas montażu, bez konieczności budowy dodatkowych rusztowań, poprzez zastosowanie ściąągów.

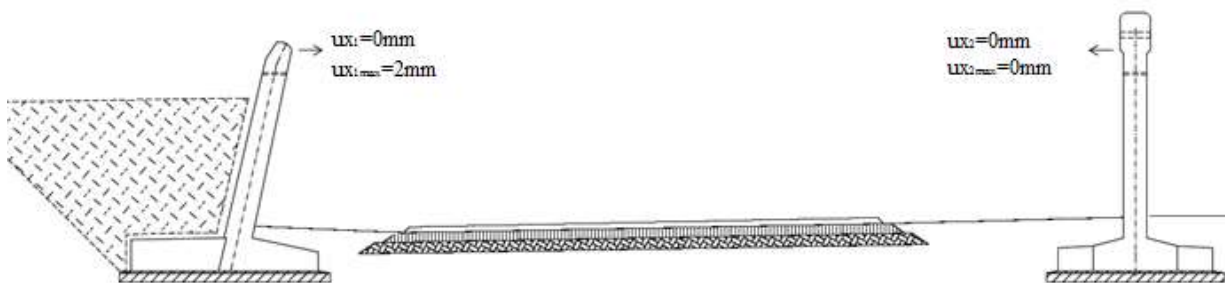


Rys. 10. Zmontowany łuk na jednym przęśle obiektu PE – 1.1

Zaletami takiego rozwiązania są:

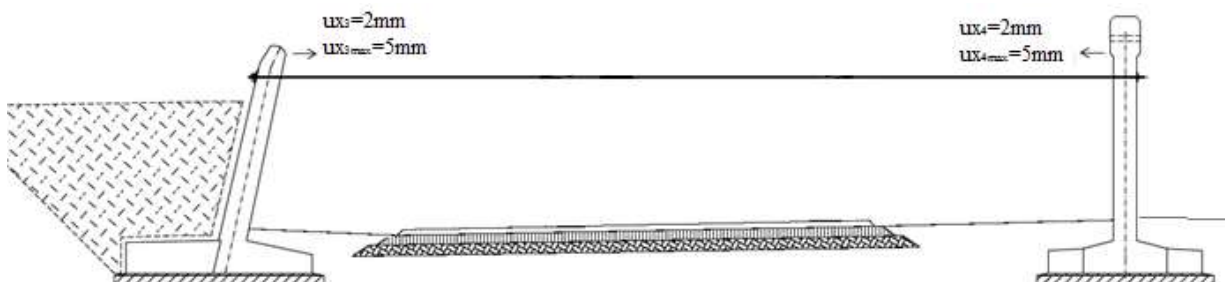
- szybkość montażu oraz demontażu,
- niski koszt,
- umożliwienie swobodnego ruchu pojazdów budowy po drugiej stronie ściany środkowej.

Ze względu na to, że jedno sklepienie łukowe składało się z dwóch elementów, niezwykle ważnym było takie dobranie siły w ściągu, aby możliwa była zarówno instalacja łuków jak i zapewniona była stateczność układu. Na potrzeby montażu została przeprowadzona szczegółowa analiza przemieszczeń ścian w zależności od etapu wznoszenia konstrukcji (rys. 11, 12 i 13).



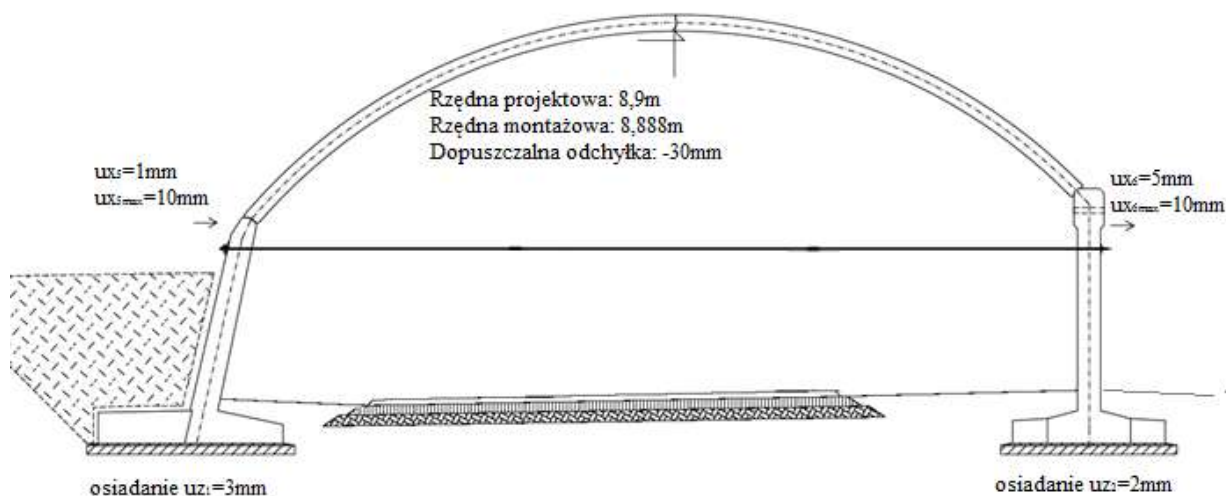
Rys. 11. Analiza przemieszczeń. Faza montażu. Etap 1

W etapie 1 przemieszczenie ux_1 i ux_2 wynosiło 0 mm, jednak w założeniach dopuszczone zostało maksymalne przemieszczenie wynoszące +2 mm. W tej fazie osiadanie podpór wyniosło 0 mm. Dla montażystów ten etap stanowił początkowy układ odniesienia do mocowania ściągu.



Rys.12. Analiza przemieszczeń. Faza montażu. Etap 2

Po instalacji ściągu oraz po skręceniu go śrubami rzymskimi do momentu zlikwidowania luzu przemieszczenia ux_3 i ux_4 wyniosły 2 mm, gdzie dopuszczalne przemieszczenie maksymalne założono na poziomie 5 mm. Zakładana siła w ściągu stanowiła 12% jego nośności.



Rys.13. Analiza przemieszczeń. Faza montażu. Etap 3

W ostatnim etapie zakładającym oparcie łuków na podporach, określono rzędną projektową bezwzględną stanowiącą odległość od spodu stopy prefabrykatu do spodu klucza i wynoszącą 8,9 m. Wartość ta była dla montażystów punktem odniesienia i stanowiła sprawdzenie poprawności instalacji łuków. Wyznaczono również rzędną montażową, która uwzględniała przemieszczenia ścian, ich osiadania oraz odchyłki montażowe. Różnica pomiędzy zakładaną rzędną spodu prefabrykatu w kluczu, a rzeczywistą wynosiła zaledwie 2 mm, podczas gdy dopuszczalna odchyłka to 30 mm. Przesunięcia końców ścian, to odpowiednio $ux_5 = 1$ mm oraz $ux_6 = 5$ mm. Siła w ściągu nie przekraczała 45% jego nośności.

3. Realizacja przejścia dla zwierząt

W pierwszej kolejności, po uprzednim wykonaniu wykopów, zostały wylane betonowe posadzki, na których następnie ustawiono prefabrykaty ścian. Gdy wykonano uciąglenia fundamentów, wypełniono betonem zamki pomiędzy prefabrykatami oraz zaizolowano ściany. W ten sposób przejście było gotowe do najtrudniejszego etapu budowy – pierwszego w Polsce montażu prefabrykatów metodą „leaf by leaf” (zdjęcia na rys. 14).



Rys. 14. Montaż prefabrykatów łukowych obiektu

W celu weryfikacji założeń projektowych, przed docelowym osadzeniem elementów łukowych, przeprowadzono próbny montaż przejścia dla zwierząt. Zanim rozpoczęto prace instalacyjne łupin, pomierzono geodezyjnie ustawienie podpór. Okazało się, że ściany nie są ustawione do siebie

równolegle, jednak maksymalna odchyłka rozpiętości nie przekraczała założeń projektowych. Teoretycznie geometryczna tolerancja ułożenia dwóch łupin na podporach wynosi ± 10 cm. Jest to odchyłka, przy której jest możliwe zamknięcie i zakleszczenie obiektu. Po zakończeniu montażu została pomierzona przez geodetę względna odległość między spodem fundamentu, a spodem łuku w kluczu. Okazało się, że całkowite ugięcie prefabrykatów nie przekroczyło 5 mm, co było zgodne z założeniami projektowymi. Ponadto, mimo niedokładności w ustawieniu ścian, nie było problemów z osadzeniem łuków na podporach. Dzięki zastosowaniu przegubu w kluczu na czas montażu, łuki te miały możliwość wzajemnego wpasowania się.



Rys. 15. Ostatni etap montażu prefabrykatów łukowych obiektu

Po potwierdzeniu założeń projektowych, przystąpiono do instalacji prefabrykatów łukowych na podporach. W czasie montażu pojawiły się dość nietypowe problemy. Z uwagi na fakt, iż sposób wznoszenia obiektu nie jest powszechnie wykonywany w Polsce oraz nie wymaga jakichkolwiek dodatkowych podpór montażowych lub połączeń, pracownicy fizyczni zastrajkowali i nie chcieli wejść na sklepienie obiektu. Jednakże pierwsze kroki i perswazja projektanta optemARCH przełamała obawy pracowników (rys. 15).

Całkowity czas trwania montażu przejścia dla zwierząt PE-1-1, który składa się z 285 prefabrykatów, trwał 38 dni roboczych. Łącznie do wybudowania przejścia użyto 3220 m³ betonu i 365 ton stali.

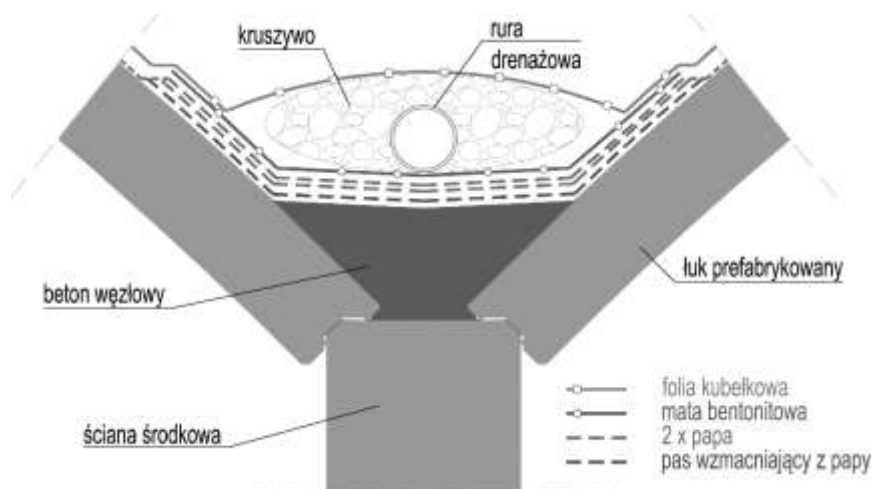
4. Projektowanie z uwagi na trwałość obiektu

Sam fakt, że prefabrykaty wykonane są z wysokiej jakości betonu skutkuje bardzo dużą trwałością eksploatacyjną. Powierzchnia betonu wykonana w wytwórni sprawia, że praktycznie nie wymaga ona już żadnych powłok malarskich służących zabezpieczeniu betonu. Brak jakichkolwiek urządzeń typu łożyska, dylatacje, połączenia śrubowe, wpływa na całkowitą bezobsługowość obiektu mostowego, a w następstwie tego bardzo niskie koszty eksploatacyjne. Na równej powierzchni betonowej bardzo łatwo można wykonać izolację przeciwwodną dowolnego typu np. papa termozgrzewalna, izolacje natryskowe lub nawet maty bentonitowe.

Ze względu na zapewnienie odpowiedniej trwałości przejścia dla zwierząt, szczególną uwagę zwrócono zarówno na dobór jak i na prawidłowe wykonanie izolacji oraz odwodnienia obiektu. Wszystkie styki prefabrykatów od strony licowej zabezpieczono sznurem dylatacyjnym propylenowym oraz materiałem trwale plastycznym. Krawędzie prefabrykatów zarówno ścian jak i łuków wykształcono w taki sposób, aby po zmontowaniu dwóch sąsiednich elementów powstawał zamek,

który następnie był wypełniany betonem. W ten sposób otrzymano szczelne połączenie między prefabrykatami, które od strony gruntu zaizolowano paskiem papy. Górne elementy prefabrykowane opemARCH na całej powierzchni zostały zabezpieczone papą zgrzewalną modyfikowaną SBS, dodatkowo zachodzącą na ściany skrajne. Na dolnych elementach w miejscach, gdzie nie była wykonywana izolacja gruba, zastosowano system izolacji cienko powłokowej. Od strony drogi izolację cienką wykonano do 50 cm powyżej poziomu terenu.

Niezwykle newralgicznym punktem w konstrukcji jest miejsce oparcia łuków na ścianie pośredniej. Sposób zabezpieczenia przeciwwilgociowego węzła przedstawia rysunek nr 16. Dodatkowo pod konstrukcją nawierzchni gruntowej na obiekcie PE-1.1 przewidziano ułożenie geomembrany kubelkowej, w celu zminimalizowania penetracji i przenikania wody przez konstrukcję. Od strony zasypowej, aby zabezpieczyć izolację przed zniszczeniem, na całej powierzchni obiektu zastosowano folię kubelkową. Ponadto woda wnikać w zasypkę obiektów została odebrana za pomocą drenaży umieszczonych obustronnie równoległe do przejścia dla zwierząt nad odsadzką zewnętrznych fundamentów oraz nad podporą pośrednią w miejscu oparcia się łuków. Dodatkowo w tym miejscu przy wlocie oraz wylocie przejścia dla zwierząt zastosowano wpusty mające na celu odprowadzenie zbierającej się wody poza obiekt, do kanalizacji deszczowej.



Rys.16. Izolacja prefabrykatów w węźle.

5. Podsumowanie

W niniejszej pracy zaprezentowano proces tworzenia systemu prefabrykowanych obiektów mostowych. Poruszono w niej zagadnienia optymalizacji przejścia dla zwierząt poprzez zmianę jego przekroju poprzecznego oraz schematu statycznego konstrukcji na etapie montażu. Szczególny nacisk położono na odpowiedni dobór parametrów materiałowych oraz właściwą izolację obiektu tak, aby zaprojektowany system nie tylko był ekonomiczny, ale również trwały w warunkach eksploatacji.

Przedstawiony przykład realizowanego przejścia dla zwierząt ukazuje zalety budowania obiektów mostowych z prefabrykatów żelbetonowych, a są to m. in:

- szybkość wykonania obiektów z możliwością ich realizacji w okresie obniżonych temperatur,
- możliwość optymalizacji grubości elementów dzięki zastosowaniu kształtu sklepień i struktury powłokowej,
- niskie zużycie materiałowe, dzięki unikalnie opracowanemu systemowi, w którym poszczególne prefabrykaty współpracują między sobą,
- większa trwałość obiektów prefabrykowanych ze względu na zastosowanie betonu o wytrzymałości C50/60, mrozoodporności F150 oraz nasiąkliwości <4%,
- szczelność obiektu mostowego dzięki dowolności stosowania kilku systemów izolacyjnych równocześnie,
- konkurencyjna cena w stosunku do innych technologii,
- ekonomika utrzymania obiektu, ze względu na brak konieczności częstego odnawiania powłok antykorozyjnych.

Należy również zwrócić uwagę na fakt, że stosowana technologia wytwarzania elementów prefabrykowanych umożliwia niemalże dowolne ich kształtowanie. Przestaje być aktualne stwierdzenie, że projekt dostosowuje się do prefabrykatu, to prefabrykat dostosowuje się do założeń projektowych.

Literatura

- [1] HAMBLY E.C.: Bridge Deck Behaviour. London and New York, E&FN SPON, 1991.
- [2] KOSECKI M.: Statyka ustrojów palowych. Szczecin, Zakład Poligraficzny Politechniki Szczecińskiej, 1988.

THE ERECTION OF THE WILDLIFE CROSSING PE-1.1 AS AN EXAMPLE OF QUICK AND EASY ASSEMBLY OF THE ENGINEERING STRUCTURES MADE OF PRECAST CONCRETE ELEMENTS.

The article presents the entire process of design and erection the wildlife crossing PE-1.1. It describes modeling of the structure in details. Particular attention has been paid to the complexity of this issue. The paper also presents selected details of the installation of the precast concrete arch bridge system and interesting problems the designer of the structure had to deal with. Moreover, the advantages of using precast concrete arch bridge system are presented as an alternative for other technologies. Finally, in conclusions, this article point out that nowadays, thanks to the technology, it's possible to customize precast elements to meet the design assumptions.