

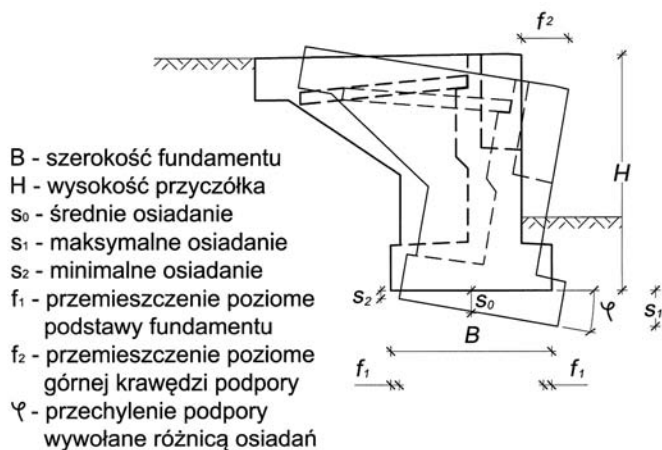
Analiza przemieszczeń przyczółka mostu posadowionego bezpośrednio w osłonie ścianki szczelnej

Mgr inż. Michał Wymysłowski, dr hab. inż. Zygmunt Kurałowicz prof. nadzw. PG
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Podpory mostów pod wpływem obciążeń ulegają przemieszczeniom pionowym i poziomym, a w konsekwencji obrotowi. Na taki charakter przemieszczeń jest narażona szczególnie skrajna podpora mostu – przyczółek, który ze względu na znaczny udział parcia gruntu jest trwale obciążony niesymetrycznie (rys. 1). Ponadto całkowite obciążenie, w tym od ruchu pojazdów, może doprowadzić do przekroczenia nośności gruntu zalegającego pod podstawą fundamentu przyczółka mostu. Zapewnienie nieprzekroczenia granicznych naprężeń w podłożu gruntowym (SGN) oraz bezpiecznych przemieszczeń ze względu na użytkowanie obiektu (SGU) jest najczęściej uwarunkowane przez dobór wymiarów fundamentu oraz sposób posadowienia jego przyczółków.

Posadowienie bezpośrednio podpór mostu bez dodatkowych elementów projektuje się w przypadku niewielkich konstrukcji mostowych i zalegania w podłożu gruntów nośnych, które nie osiągną osiadań większych od wartości przemieszczeń granicznych, założonych przez projektanta bądź administratora danego obiektu mostowego. Jednak w praktyce, dość często wykonuje się dodatkowo ściankę szczelną wokół fundamentu i pozostawia w podłożu po zakończeniu prac ziemno-fundamentowych (ścianka ta nie jest projektowana jako element fundamentu bezpośredniego). Powszechnie uważa się, że jej zadaniem jest jedynie:

- w przypadku konstrukcji nowobudowanej, zabezpieczenie wykopu przed filtracją wody gruntowej oraz wpływem wody płynącej w cieku wodnym, sąsiadującym z wykopem pod fundament,
- w przypadku obiektu istniejącego, wzmocnienie fundamentu (poprzez otoczenie go ścianką szczelną), w którym na skutek wzrostu obciążeń mogłyby być przekroczone graniczne przemieszczenia lub naprężenia w podłożu gruntowym.



Rys. 1. Możliwe przemieszczenia przyczółka mostu [3]

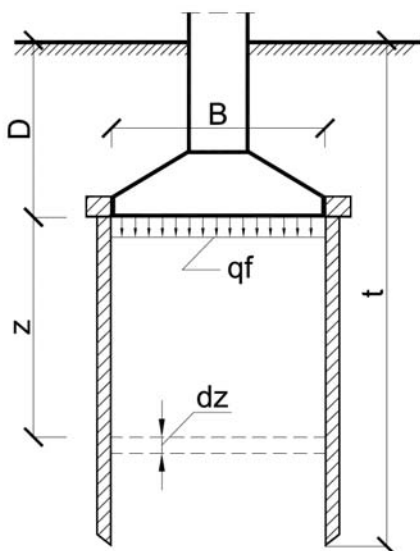
WSPÓŁPRACA ŚCIANKI OSŁONOWEJ Z FUNDAMENTEM BEZPOŚREDNIM

Intuicyjnie, wykonanie zamkniętej osłony (płaszcza) w postaci ścianki szczelnej, np. z grodzic stalowych po obwodzie fundamentu, powoduje poprawienie warunków posadowienia przyczółków mostowych w stosunku do posadowienia bezpośredniego bez osłony i ogranicza przemieszczenia. Jednak, po-

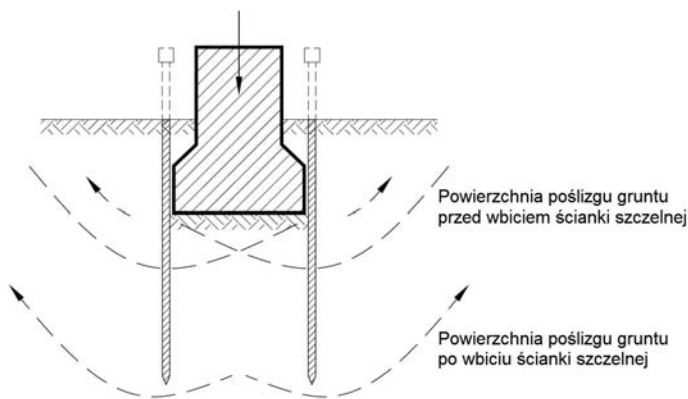
mimo że istnieje kilka teorii opisujących wzajemną współpracę fundamentu ze ścianką szczelną, brak jest jednoznacznych zaleceń do projektowania oraz ostatecznej oceny przemieszczeń przyczółka i nośności podłoża pod takim fundamentem.

Według [2] w większości przypadków praktycznych nośność fundamentu znacznie się zwiększa, ponieważ korzystniejszą są właściwości gruntu w miarę zwiększania głębokości, równocześnie zwiększa się kąt tarcia wewnętrznego gruntu i ewentualnie spójność. Jednocześnie, nie ma jednoznacznej oceny co do wartości rzeczywistych osiadań. Masa gruntu zawarta między ściankami szczelnymi powoduje powstanie sklepienia i wywołuje pionowe naprężenia zgodne z teorią parcia na ścianę silosu (rys. 2).

Według [7] w obrębie ścianki szczelnej osiadanie podłoża ogranicza się do tzw. osiadania właściwego będącego wynikiem ściśliwości gruntu. Jest ono dość małe i najczęściej nie szkodzi obiektowi. Natomiast strefa osiadania pod wpływem ewentualnego uplastycznienia gruntu pod fundamentem i w wyniku wypierania tego gruntu „na boki”, na skutek wykonania ścianki, zostaje przeniesiona głębiej do spodu ścianki, gdzie nośność gruntu jest większa. Przesunięcia poziome podpory również są ograniczone wskutek uwzględnienia płaszcza ze ścianek szczelnych, jako elementów kotwiących fundament w gruncie. Zmniejszenie wartości osiadań powoduje również zmniejszenie obrotów podpory mostowej (rys. 3).



Rys. 2. Schemat obliczeniowy fundamentu ze ścianką szczelną [2]

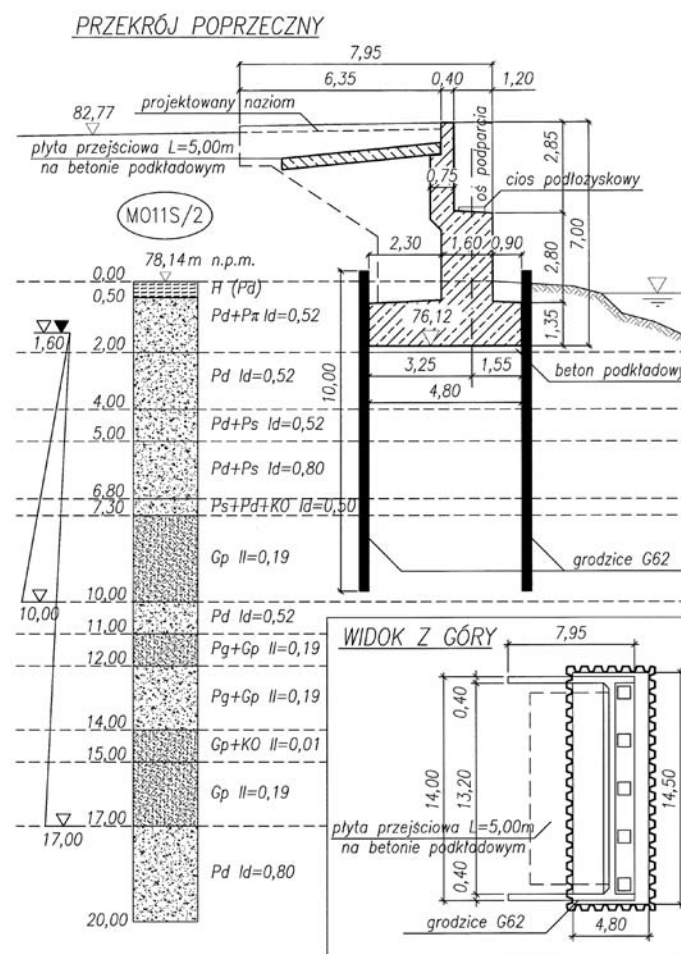


Rys. 3. Zwiększenie nośności podpory poprzez wbicie ścianki szczelnej [7]

Według [8] nośność odpowiednio wykonanych fundamentów w ścianie szczelnej można obliczyć tak, jak nośność studni lub kesonu, z tą różnicą, że głębokość posadowienia fundamentu przyjmuje się równą poziomowi ostrzy ścianki szczelnej. Poziomą składową normalną naprężenia można wyznaczyć jako parcie spoczynkowe. Do obliczenia osiadania należy jednak włączyć warstwę zalegającą między spodem fundamentu i ostrzem ścianki szczelnej.

ANALIZA PRZEMIESZCZEŃ PRZYZCÓŁKA I ROZKŁADU NAPRĘŻENIA W PODŁOŻU ZA POMOCĄ PROGRAMU KOMPUTEROWEGO GEO5 v14

Rozpatrując wpływ osłony fundamentu na przemieszczenia przyczółka (rys. 4) oraz reakcję gruntu o parametrach podanych w tabl. 1 [1], przyjęto ściankę szczelną z grodzie G62. Analizowany przyczółek stanowi skrajną podporę zaprojektowanego mostu nad rzeką Noteć w okolicach Inowrocławia [6]. W obliczeniach uwzględniono trzy warianty połączenia ścianki szczelnej z fundamentem, tzn.: utwierdzenie albo połączenie przegubowe skonstruowane za pomocą zbrojenia oraz położenie swobodne w odległości 15 cm od fundamentu (brak konstrukcyjnego połączenia ścianki z fundamentem). Wyniki obliczeń trzech wymienionych wariantów porównano z wartościami obliczonymi dla bezpośredniego posadowienia fundamentu bez płaszcza z grodzie. W analizie numerycznej skorzystano z pro-



Rys. 4. Przekrój podłoża i analizowanego przyczółka mostowego według [1]

Tabl. 1. Parametry gruntów przyjęte do obliczeń numerycznych [1]

L.p.	Rodzaj gruntu	Ciężar objętościowy gruntu γ [kN/m ³]	Współczynnik Poissona ν [-]	Moduł sprężystości E [MPa]	Kąt tarcia wewnętrznego Φ_{eff} [°]	Spójność gruntu c_{eff} [kPa]	Kąt dyatacji ψ [°]	Ciężar gruntu nawodnionego γ_{sat} [kN/m ³]	Współczynnik filtracji w kierunku x $k_{x,sat}$ [m/dzień]	Współczynnik filtracji w kierunku z $k_{z,sat}$ [m/dzień]	Początkowy wskaźnik porowatości e_0 [-]
1.	Piasek średni: Ps	19,0	0,25	165,0	36,0	0,0	6,0	20,5	8,64	8,64	0,47
2.	Piasek drobny i średni: Pd + Ps	17,5	0,30	48,0	30,5	0,0	0,5	20,0	4,32	4,32	0,39
3.	Piasek drobny i średni: Pd + Ps	18,4	0,30	98,0	32,0	0,0	2,0	19,0	4,32	4,32	0,33
4.	Piasek drobny i średni: Pd + Ps	18,4	0,30	70,0	32,0	0,0	2,0	19,0	4,32	4,32	0,39
5.	Gлина piaszczysta: Gp	21,0	0,29	27,5	18,5	32,0	0,0	22,0	8,64E-05	8,64E-05	0,21
6.	Piasek drobny i średni: Pd + Ps	17,5	0,30	48,0	30,5	0,0	0,5	19,0	4,32	4,32	0,39
7.	Piasek gliniasty i glina piaszczysta: Pg + Gp	21,0	0,29	27,5	18,5	32,0	0,0	22,0	8,64E-03	8,64E-03	0,23
8.	Gлина piaszczysta: Gp	22,0	0,29	50,0	22,0	39,0	0,0	22,5	8,64E-05	8,64E-05	0,19
9.	Gлина piaszczysta: Gp	21,0	0,29	27,5	18,5	32,0	0,0	22,0	8,64E-05	8,64E-05	0,21
10.	Piasek drobny: Pd	18,4	0,30	98,0	32,0	0,0	2,0	20,0	4,32	4,32	0,33

gramu GEO5 v14 firmy Fine spol. s r. o. (do projektowania geotechnicznego i obliczeń inżynierskich) [4]. Program komputerowy GEO MES stanowi element pakietu GEO5 v14 i służy do analizy zadań geotechnicznych, które wykazują nieliniową reakcję ośrodka gruntowego lub skalnego [5]. W obliczeniach opisanego problemu użyto rozwiązania iteracyjnego dla danej wartości granicznej. Do modelowania przyczółka wraz z podłożem zastosowano metodę elementów skończonych w płaskim stanie odkształcenia PSO [4].

Przyjęcie metody elementów skończonych (MES) wymagało zastosowania przyrostowej postaci warunków równowagi:

$$K_T \cdot \Delta u = \Delta f \quad (1)$$

gdzie:

K_T – macierz sztywności chwilowej,

Δu – wektor przyrostów przemieszczeń w węzłach,

Δf – wektor przyrostów sił niezerównoważonych.

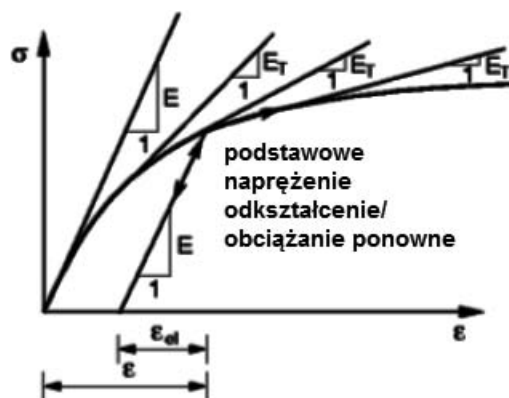
Równanie to może być rozwiązane tylko w sposób przybliżony, z zastosowaniem odpowiedniej metody numerycznej, której celem jest osiągnięcie w procesie iteracji takiego stanu naprężenia i odkształcenia, który spełnia warunek $\Delta f = 0$. W programie GEO MES wykorzystano w obliczeniach numerycznych metodę: Newtona-Raphsona (NRM).

MODELE PODŁOŻA, PRZYZCÓŁKA ORAZ ŚCIANKI OSŁONOWEJ

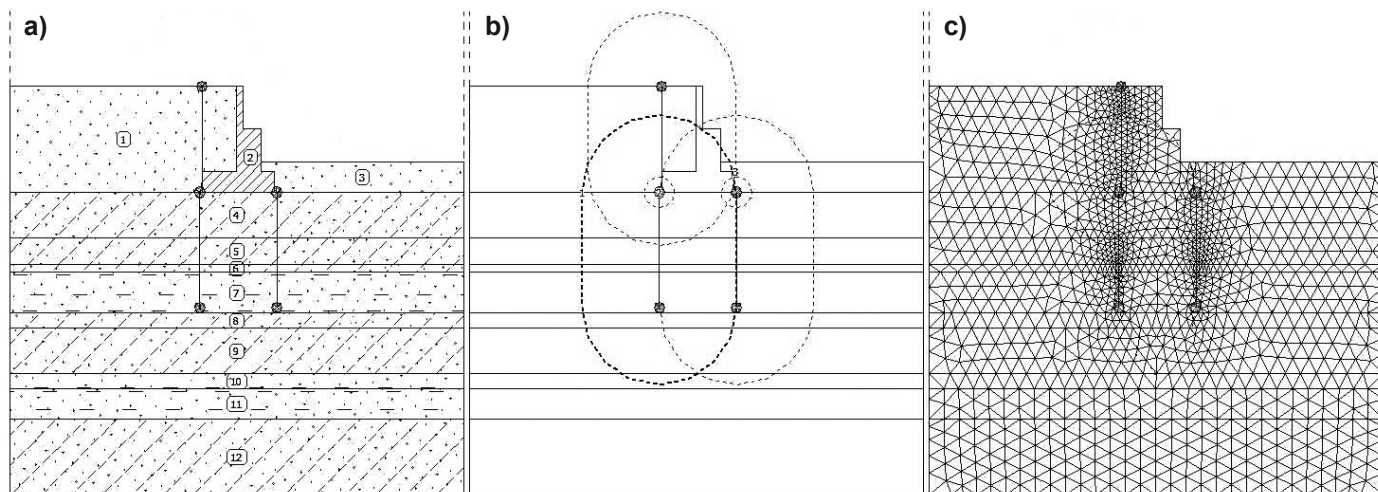
Do opisu modelu podłoża pod fundamentem przyjęto model sprężysto-plastyczny Coulomba-Mohra (rys. 5), opisany nastę-

pującymi parametrami: moduł sprężystości E , współczynnik Poissona, kąt tarcia wewnętrznego i spójność [5] (dwa ostatnie parametry określają warunek plastyczności). Do zapisu równań konstytutywnych wykorzystano efektywne parametry kąta tarcia wewnętrznego ϕ_{eff} i spójności c_{eff} . Ze względu na to, że zdefiniowany kąt dyatacji ma wpływ na wielkość plastycznego odkształcenia objętościowego powstającego w trakcie ścinania plastycznego, przyjęto, że jest on stały podczas uplastycznienia. Wartość $\psi = 0^\circ$ odpowiada odkształceniu przy ścinaniu z zachowaniem stałej objętości. W przypadku gruntów niespoistych, takich jak piaski i żwiry przyjęto do obliczeń $\psi = \phi_{eff} - 30^\circ$, a dla gruntów spoistych, jak gliny, przyjęto $\psi = 0^\circ$ [5].

W modelu zastosowano trójkątne elementy skończone (rys. 6) o maksymalnej długości krawędzi 1,00 m. Wprowadzono również dwa rodzaje zagęszczenia siatki: tzw. „liniowe”



Rys. 5. Wykres naprężenie – odkształcenie dla modeli nieliniowych według [5]



Rys. 6. Dane przyjęte w programie GEO5 v14 uwarstwienie podłoża gruntowego (a), strefy zagęszczenia elementów skończonych (b), siatka elementów skończonych (c) [4]

wzdłuż linii grodziec i wysokości przyczółka od strony naziomu oraz „punktowe”, w miejscach połączenia grodziec z fundamentem. Długość krawędzi w przypadku zagęszczenia siatki wynosiła 15 cm.

Ze względu na to, że elementy skończone modelujące przyczółek mostowy w obliczeniach numerycznych powinny charakteryzować się „nieskończoną” sztywnością, dlatego odkształcenia siatki węzłów elementów przyjęto równe zeru. Pozostawiono możliwe translacje węzłów o wektory, których wartości są obliczane na podstawie obciążenia przyłożonego do analizowanej konstrukcji. Wzajemne odległości między węzłami elementów sztywnych przyjęto jako stałe [4] [5]. Ściankę szczelną o długości 7,60 m opisano za pomocą elementów belkowych o trzech stopniach swobody w każdym węzle (elementy belkowe są tworzone na podstawie teorii Mindlina, tzn. płasz-

czyzna przekroju normalna do osi belki przed odkształceniem pozostaje płaszczyzną po odkształceniu, ale niekoniecznie normalną do odkształconej osi belki) [4]. We wszystkich przypadkach połączenia górnego końca ścianki z fundamentem przyczółka przyjęto utwierdzenie dolnego końca ścianki szczelnej. Korzystając z programu GEO5 v14, siły wewnętrzne obliczono w węzłach elementu belkowego oraz na podstawie sił zewnętrznych działających na końcach belki. Istotne przy modelowaniu elementów belkowych było zdefiniowanie elementów kontaktowych, które charakteryzują styk elementu belkowego z masywem gruntowym. Element kontaktowy o zerowej grubości „pozwoił” obliczyć napężenie „na granicy”, jako funkcji względnego przesunięcia, które zachodzi wzdłuż elementu kontaktowego o określonej sztywności sprężystej w kierunku normalnym i stycznym. Do obliczeń numerycznych przemieszczeń

Tabl. 2. Obciążenia łożysk q [kN/m] oraz cztery przypadki posadowienia bezpośredniego przyczółka

Obciążenie łożysk q [kN/m]	Przypadki posadowienia bezpośredniego przyczółka			
	(1) Fundament bez osłony ze ścianki szczelnej	(2) Fundament w osłonie ze ścianki szczelnej – połączenie sztywne	(3) Fundament w osłonie ze ścianki szczelnej – połączenie przegubowe	(4) Fundament w osłonie ze ścianki szczelnej – bez połączenia
1,0				
10,0				
50,0				
100,0				
150,0				
200,0				
250,0				
350,0				
500,0				
600,0				

Tabl. 3. Obciążenia naziomu q [kPa] oraz cztery przypadki posadowienia bezpośredniego przyczółka

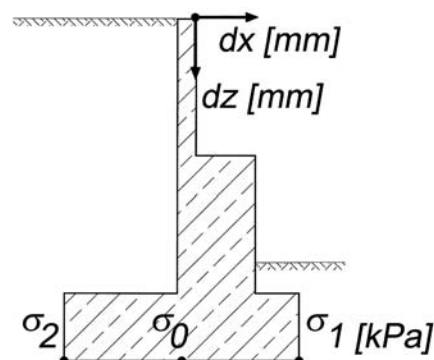
Obciążenie naziomu q [kPa]	Przypadki posadowienia bezpośredniego przyczółka			
	(1) Fundament bez osłony ze ścianki szczelnej	(2) Fundament w osłonie ze ścianki szczelnej – sztywne połączenie	(3) Fundament w osłonie ze ścianki szczelnej – przegubowe połączenie	(4) Fundament w osłonie ze ścianki szczelnej – bez połączenia
1,0				
10,0				
50,0				
100,0				
150,0				

przyczółka przyjęto domyślnie ustawioną w programie GEO5 v14 wartość 10000 kN/m³ (dla wartości sztywności sprężystej powyżej 100000 kN/m³ proces iteracji może oscylować, a dla małych wartości k_s i k_n poniżej 10000 kN/m³ otrzymuje się nierealistyczne odkształcenia konstrukcji [5]).

W obliczeniach numerycznych w czterech przypadkach posadowienia bezpośredniego przyczółka uwzględniono dwa schematy obciążeń: liniowe w miejscu projektowanych łożysk o wartościach zmiennych (rosnących) od 1,0 kN/m do 600,0 kN/m – maksymalne obciążenie obliczeniowe od przęsła mostu (rozłożone liniowo) uwzględniające ciężar własny, dodatkowy i ruchomy, które może obciążyć analizowany przyczółek w miejscu projektowanych łożysk (tabl. 2) oraz powierzchniowe naziomu bezpośrednio za żelbetowym korpusem przyczółka o wartościach zmiennych (rosnących) od 1,0 kPa do 150,0 kPa – maksymalne obciążenie (rozłożone powierzchniowo) powstałe od obciążenia ruchomego, które może obciążyć analizowany przyczółek w sposób pokazany w tabl. 3.

WYNIKI OBLICZEŃ PRZEMIESZCZEŃ PRZYCZÓŁKA I NAPRĘŻENIA W GRUNCIE ZA POMOCĄ PROGRAMU GEO5 v14

Dla przyjętych parametrów gruntowych, materiałowych i obciążenia oraz wybranych i opisanych wcześniej wariantów posadowienia fundamentu przyczółka wyznaczono przemieszczenia pionowe dz i poziome dx górnej krawędzi korpusu podpory (ścianki zapleczonej) oraz naprężenia w gruncie pod fundamentem w trzech charakterystycznych punktach – pod środkiem i krawędziami odsadzek (rys. 7).



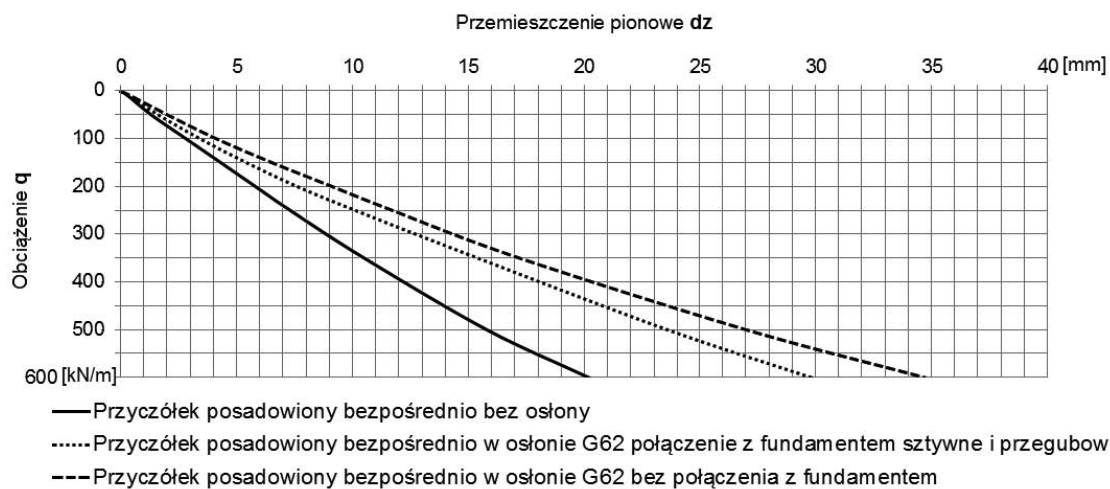
Rys. 7. Lokalizacja obliczanych programem GEO5 v14 przemieszczeń (dx , dz) korpusu przyczółka oraz naprężenia w gruncie pod fundamentem przyczółka

W pierwszym etapie obliczeń numerycznych określono wpływ ciężaru własnego przyczółka 320,32 kN/m i ciężaru gruntu za jego korpusem (tabl. 1) na przemieszczenia górnej krawędzi korpusu przyczółka oraz na naprężenie w podłożu gruntowym pod fundamentem przyczółka. Jak pokazano w tabl. 4 największe naprężenie występuje w przypadku posadowienia bez osłony ze ścianki szczelnej (przypadek 1) oraz dla osłony bez połączenia z fundamentem (przypadek 4). Zastosowanie osłony fundamentu ze ścianek szczelnych, bez względu na sposób ich połączenia z fundamentem, znacznie zmniejszyło wartości naprężenia w podłożu gruntowym od obciążenia ciężarem własnym przyczółka mostowego.

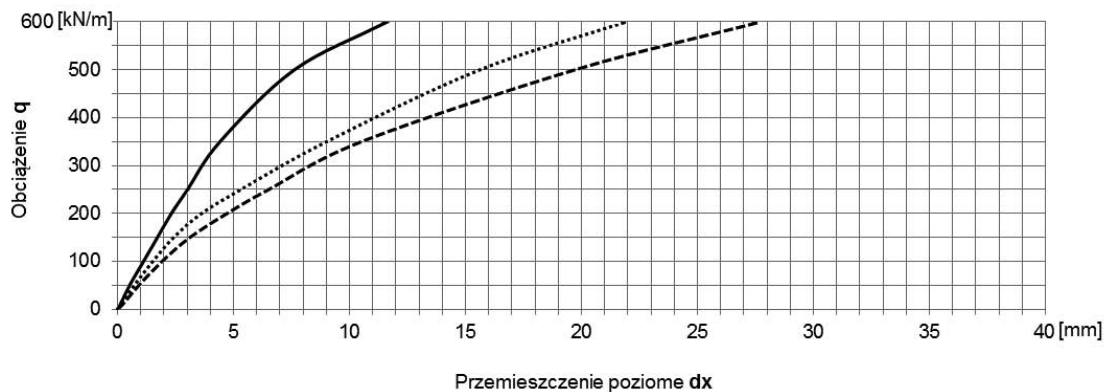
W kolejnym etapie analizy, stopniowo zwiększając wartości obciążenia zlokalizowane w miejscu łożysk i na naziomie, uzyskano przebiegi zmienności obliczonego przemieszczenia i naprężenia, w zależności od sposobu obciążenia i posadowie-

Tabl. 4. Wartości przemieszczeń górnej krawędzi korpusu przyczółka i naprężenia w gruncie pod fundamentem obliczone od obciążenia ciężarem własnym podpory w 4 przypadkach posadowienia bezpośredniego

Obliczana wielkość	Przypadki posadowienia bezpośredniego przyczółka			
	(1) Fundament bez osłony ze ścianki szczelnej	(2) Fundament w osłonie ze ścianki szczelnej - połączenie sztywne	(3) Fundament w osłonie ze ścianki szczelnej – połączenie przegubowe	(4) Fundament w osłonie ze ścianki szczelnej – bez połączenia
dz [mm]	0,0	0,0	0,0	0,0
dx [mm]	0,0	0,0	0,0	0,0
σ_1 [kPa]	141,90	40,05	40,05	82,23
σ_0 [kPa]	120,25	78,93	78,93	84,98
σ_2 [kPa]	126,68	74,95	74,95	95,50
Rozkład naprężenia w gruncie				

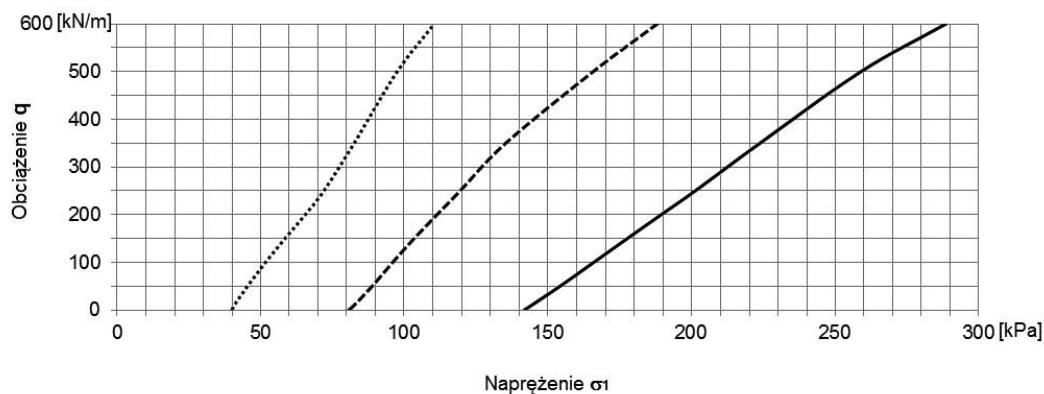


Rys. 8a. Przemieszczenie pionowe dz [mm] górnej krawędzi korpusu przyczółka w zależności od obciążenia przyłożonego w miejscu projektowanych łożysk w różnych przypadkach posadowienia bezpośredniego



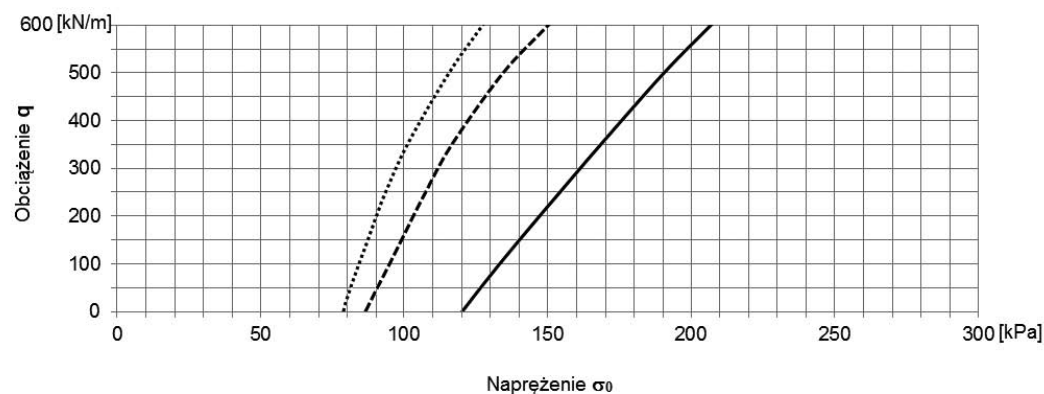
- Przymocowanie bezpośrednie bez osłony
- Przymocowanie bezpośrednie w osłonie G62 połączenie z fundamentem sztywne i przegubowe
- Przymocowanie bezpośrednie w osłonie G62 bez połączenia z fundamentem

Rys. 8b. Przesunięcie poziome dx [mm] górnej krawędzi korpusu przyczółka w zależności od obciążenia przyłożonego w miejscu projektowanych łożysk w różnych przypadkach posadowienia bezpośredniego



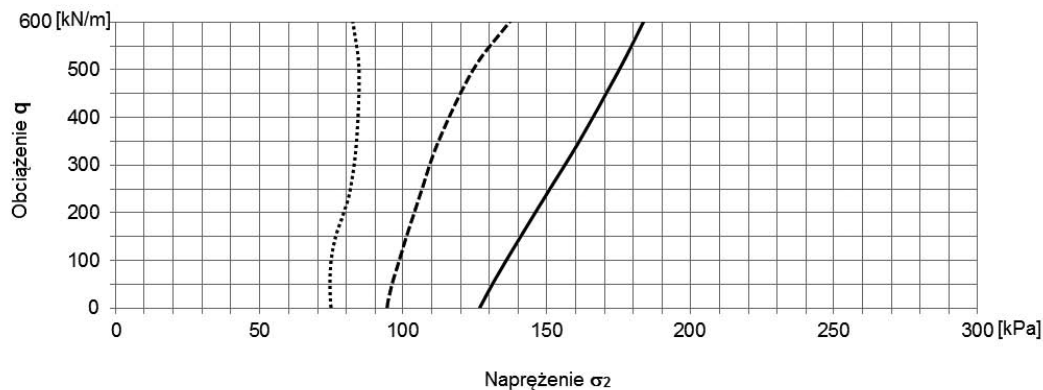
- Przymocowanie bezpośrednie bez osłony
- Przymocowanie bezpośrednie w osłonie G62 połączenie z fundamentem sztywne i przegubowe
- Przymocowanie bezpośrednie w osłonie G62 bez połączenia z fundamentem

Rys. 8c. Naprężenie w gruncie σ_1 [kPa] pod krawędzią przedniej odsadzki fundamentu przyczółka w zależności od obciążenia przyłożonego w miejscu projektowanych łożysk w różnych przypadkach posadowienia bezpośredniego



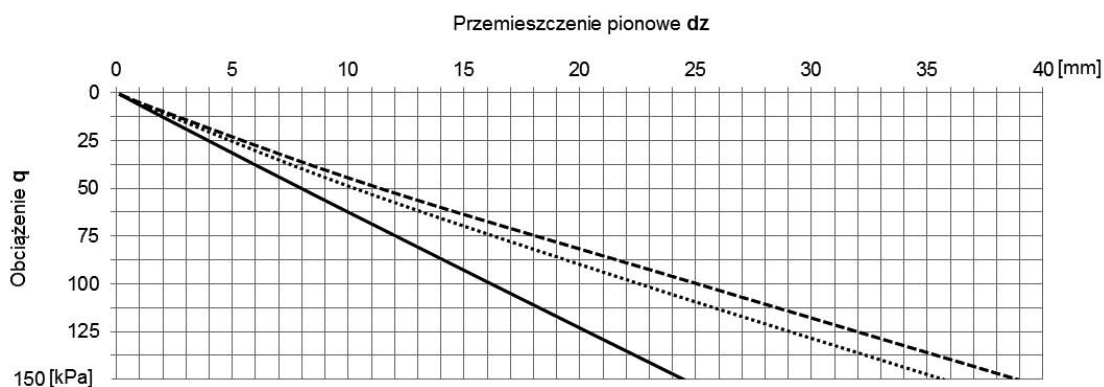
- Przymocowanie bezpośrednie bez osłony
- Przymocowanie bezpośrednie w osłonie G62 połączenie z fundamentem sztywne i przegubowe
- Przymocowanie bezpośrednie w osłonie G62 bez połączenia z fundamentem

Rys. 8d. Naprężenie w gruncie σ_0 [kPa] pod środkiem fundamentu przyczółka w zależności od obciążenia przyłożonego w miejscu projektowanych łożysk w różnych przypadkach posadowienia bezpośredniego



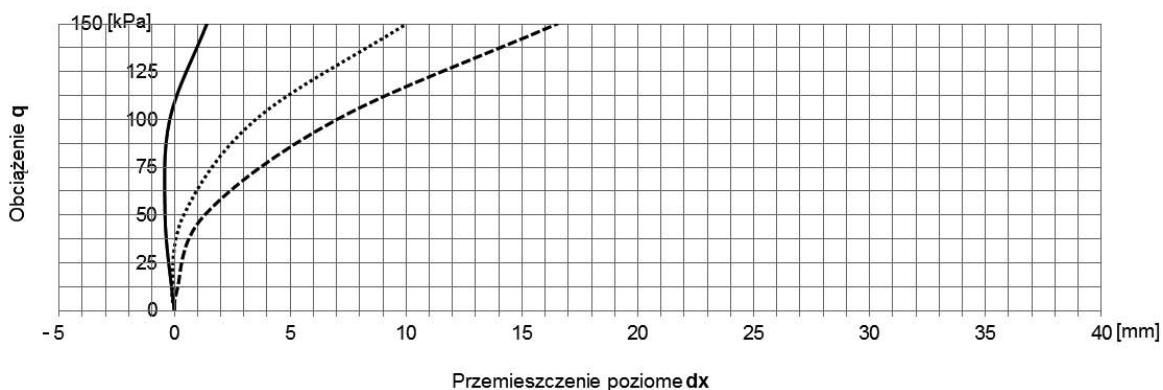
- Przyczółek posadowiony bezpośrednio bez osłony
-Przyczółek posadowiony bezpośrednio w osłonie G62 połączenie z fundamentem sztywne i przegubowe
- Przyczółek posadowiony bezpośrednio w osłonie G62 bez połączenia z fundamentem

Rys. 8e. Napężenie w gruncie σ_2 [kPa] pod krawędzią tylnej odsadzki fundamentu przyczółka w zależności od obciążenia przyłożonego w miejscu projektowanych łożysk w różnych przypadkach posadowienia bezpośredniego



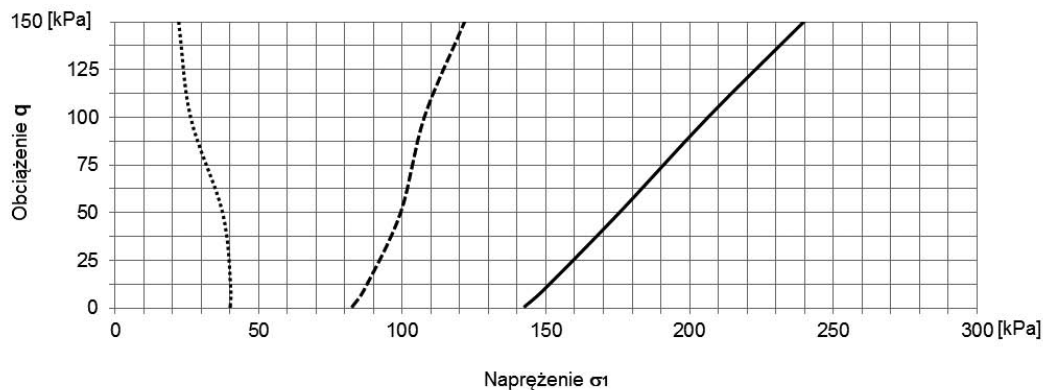
- Przyczółek posadowiony bezpośrednio bez osłony
-Przyczółek posadowiony bezpośrednio w osłonie G62 połączenie z fundamentem sztywne i przegubowe
- Przyczółek posadowiony bezpośrednio w osłonie G62 bez połączenia z fundamentem

Rys. 9a. Przemieszczenie pionowe d_z [mm] górnej krawędzi korpusu przyczółka w zależności od obciążenia naziomu w różnych przypadkach posadowienia bezpośredniego



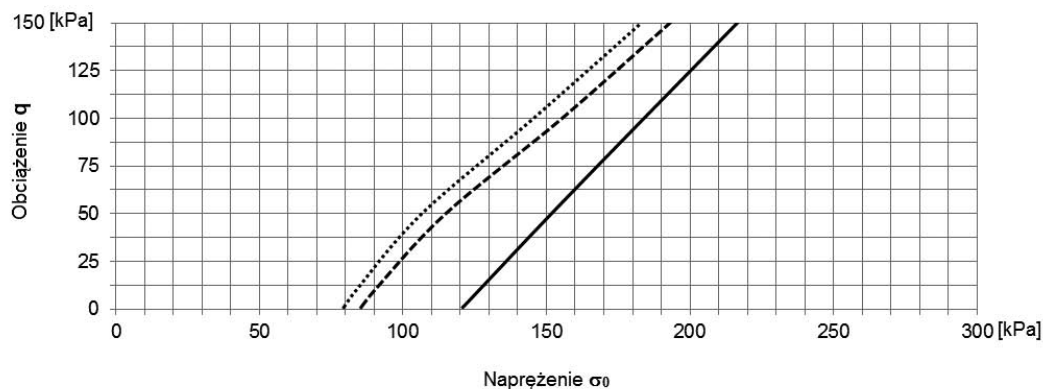
- Przyczółek posadowiony bezpośrednio bez osłony
-Przyczółek posadowiony bezpośrednio w osłonie G62 połączenie z fundamentem sztywne i przegubowe
- Przyczółek posadowiony bezpośrednio w osłonie G62 bez połączenia z fundamentem

Rys. 9b. Przemieszczenie poziome d_x [mm] górnej krawędzi korpusu przyczółka w zależności od obciążenia naziomu w różnych przypadkach posadowienia bezpośredniego



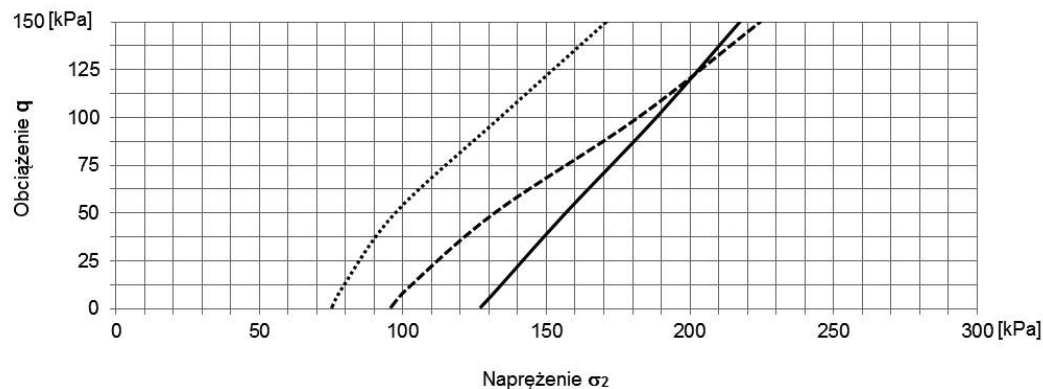
- Przymocowanie posadowiony bezpośrednio bez osłony
- Przymocowanie posadowiony bezpośrednio w osłonie G62 połączenie z fundamentem sztywne i przegubowe
- Przymocowanie posadowiony bezpośrednio w osłonie G62 bez połączenia z fundamentem

Rys. 9c. Napężenie w gruncie σ_1 [kPa] pod krawędzią przedniej odsadzki fundamentu przyczółka w zależności od obciążenia naziomu w różnych przypadkach posadowienia bezpośredniego



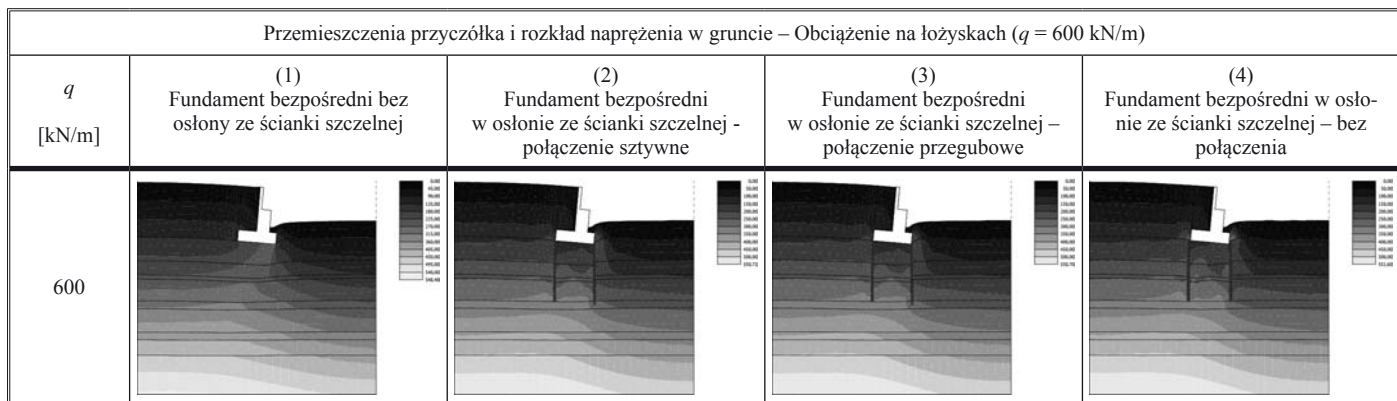
- Przymocowanie posadowiony bezpośrednio bez osłony
- Przymocowanie posadowiony bezpośrednio w osłonie G62 połączenie z fundamentem sztywne i przegubowe
- Przymocowanie posadowiony bezpośrednio w osłonie G62 bez połączenia z fundamentem

Rys. 9d. Napężenie w gruncie σ_0 [kPa] pod środkiem fundamentu przyczółka w zależności od obciążenia naziomu w różnych przypadkach posadowienia bezpośredniego

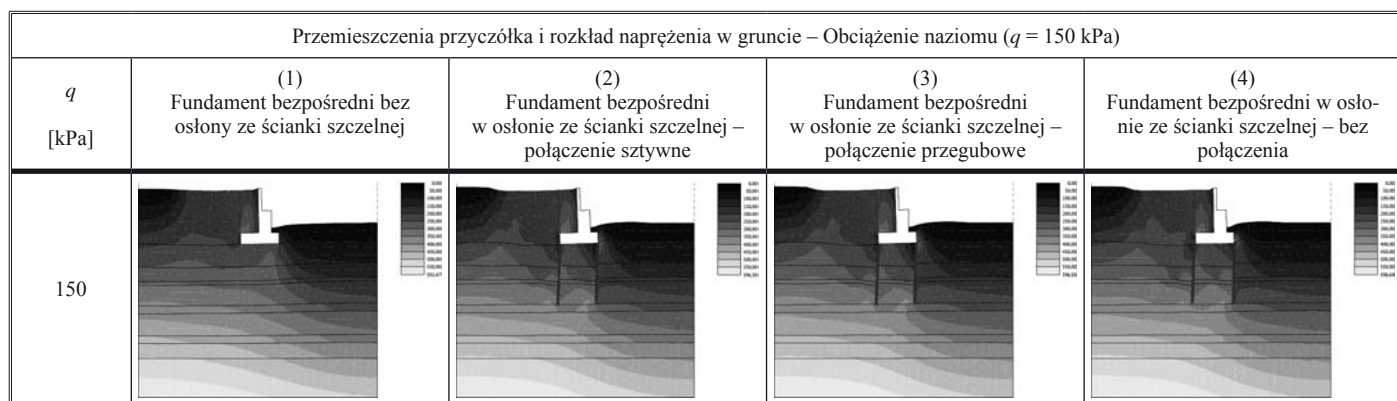


- Przymocowanie posadowiony bezpośrednio bez osłony
- Przymocowanie posadowiony bezpośrednio w osłonie G62 połączenie z fundamentem sztywne i przegubowe
- Przymocowanie posadowiony bezpośrednio w osłonie G62 bez połączenia z fundamentem

Rys. 9e. Napężenie w gruncie σ_2 [kPa] pod krawędzią tylnej odsadzki fundamentu przyczółka w zależności od obciążenia naziomu w różnych przypadkach posadowienia bezpośredniego



Rys. 10. Przemieszczenia przyczółka i rozkład naprężenia w gruncie od obciążenia $q = 600 \text{ kN/m}$ przekazywanego poprzez łożyska – posadowienie fundamentu bez i w osłonie ścianki szczelnej



Rys. 11. Przemieszczenia przyczółka i rozkład naprężenia w gruncie od obciążenia naziomu $q = 150 \text{ kPa}$ – posadowienie fundamentu bez i w osłonie ścianki szczelnej

nia przyczółka (rys. 8 i 9). Wyniki szczegółowej analizy wpływu sposobu połączenia ścianki szczelnej z grodzic z fundamentem na rozkład naprężenia w gruncie i przemieszczenia przyczółka mostowego dla wybranych obciążeń zlokalizowanych w miejscu projektowanych łożysk oraz na naziemie pokazano na (rys. 10 i 11).

Obliczone wartości przemieszczenia górnej krawędzi korpusu przyczółka i naprężenia w gruncie pod fundamentem powstałe na skutek superpozycji obciążeń działających na przyczółek mostowy w miejscu projektowanych łożysk ($q = 450 \text{ kN/m}$) – minimalne obciążenie obliczeniowe od przęsła mostu (rozłożone liniowo), uwzględniające ciężar własny i dodatkowy bez ruchomego, które może obciążyć analizowany przyczółek w miejscu projektowanych łożysk oraz na naziemie ($q = 150 \text{ kPa}$) przedstawiono w tabl. 5.

We wszystkich przypadkach rozwiązania posadowienia przyczółka mostowego największe przemieszczenie pionowe i poziome występuje, gdy osłona jest wokół fundamentu bezpośredniego, ale bez połączenia (przypadek 4).

WNIOSKI

Zastosowanie osłony fundamentu ze ścianki szczelnej, bez względu na sposób jej połączenia z fundamentem znacznie

zmniejsza wartości naprężenia w podłożu gruntowym wywołanego ciężarem własnym przyczółka mostowego.

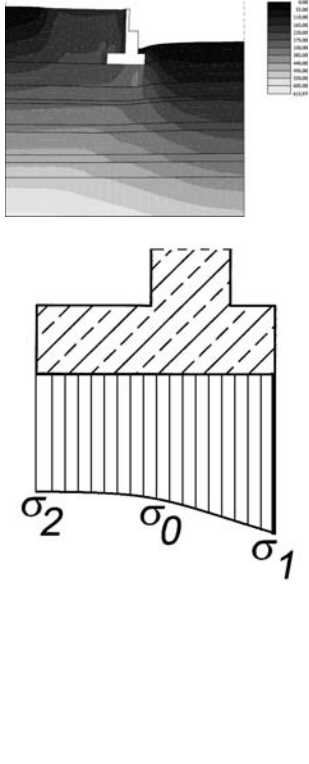
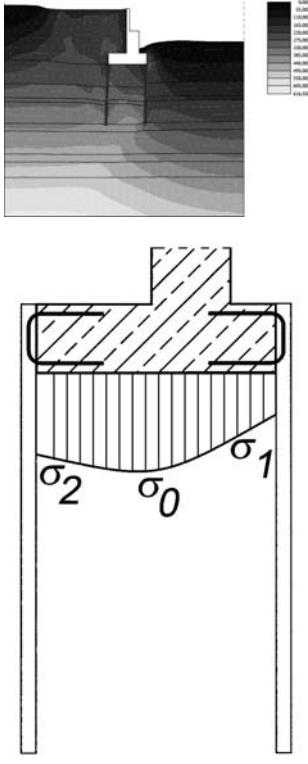
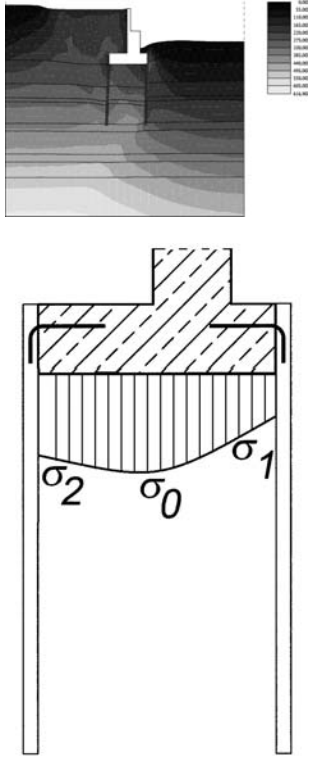
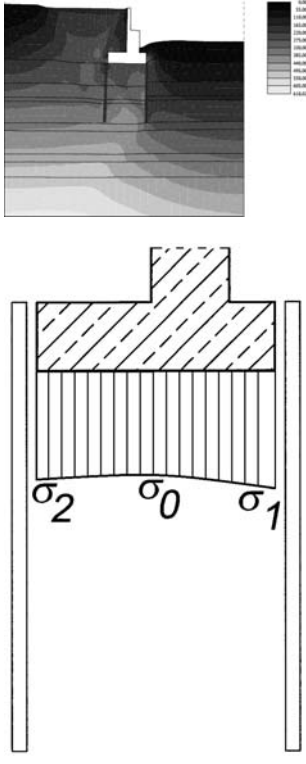
Wykonanie podczas prac ziemnych i fundamentowych osłony fundamentu przyczółka mostowego z grodzic stalowych i jej pozostawienie w gruncie powoduje zwiększenie przemieszczeń pionowych i poziomych górnej krawędzi korpusu w trakcie eksploatacji w porównaniu z posadowieniem bezpośrednim bez osłon, wywołane obciążeniem na łożyskach lub naziemie. Osłona z grodzic „tnąc” podłoże gruntowe, powoduje większe przemieszczenia przyczółka. Natomiast wartości naprężenia w gruncie bezpośrednio pod fundamentem maleją. Zmniejsza się również moduł Younga dla gruntu – spada jego wartość, gdyż zależność naprężenie – odkształcenie przestaje być liniowa i staje się krzywoliniowa, zgodnie z rys. 5.

W analizowanym przypadku dwóch sposobów połączenia ścianki szczelnej z fundamentem przyczółka mostowego otrzymano takie same wartości przemieszczeń i naprężeń pod fundamentem (od obciążenia na łożyskach lub naziemie).

Osłona bez połączenia z fundamentem przyczółka zwiększa przemieszczenie pionowe i poziome, ale zmniejsza naprężenie w gruncie w stosunku do posadowienia bezpośredniego.

Brak jednoznacznej procedury obliczeniowej oceny wpływu pozostawionej ścianki na przemieszczenia podpór mostowych i naprężenia w gruncie uniemożliwia optymalne projektowanie obiektów mostowych.

Tabl. 5. Wartości przemieszczeń górnej krawędzi korpusu przyczółka i naprężenia w gruncie pod fundamentem obliczone od obciążenia przyłożonego w miejscu projektowanych łożysk (450 kN/m) i naziemu (150 kPa) w czterech przypadkach posadowienia bezpośredniego

Obliczana wielkość	Przypadki posadowienia bezpośredniego przyczółka			
	(1) Fundament bez osłony ze ścianki szczelnej	(2) Fundament w osłonie ze ścianki szczelnej - połączenie sztywne	(3) Fundament w osłonie ze ścianki szczelnej - połączenie przegubowe	(4) Fundament w osłonie ze ścianki szczelnej - bez połączenia
dz [mm]	43,2	63,4	64,5	71,6
dx [mm]	8,7	23,6	25,0	41,4
σ_1 [kPa]	347,75	93,63	93,49	258,75
σ_0 [kPa]	273,84	208,79	209,90	233,66
σ_2 [kPa]	258,48	180,79	179,75	240,57
Rozkład naprężenia w gruncie				

Przedstawione wyniki analizy z wykorzystaniem programu komputerowego GEO5 v 14 wymagają dalszych obliczeń oraz weryfikacji ich wyników na podstawie pomiarów geodezyjnych wykonanych na obiektach w skali rzeczywistej i modelowej.

LITERATURA

1. Dokumentacja geologiczno-inżynierska. Metryka otworu wiertniczego nr MO11S/2. Przedsiębiorstwo geotechniczno-konsultingowe GEOTECH Sp. z o. o., Bydgoszcz 2009.
2. Glinicki S. P.: Geotechnika budowlana. Część II. Wydawnictwa Politechniki Białostockiej, Białystok 1992.
3. Kurałowicz Z., Wymysłowski M.: Przemieszczenia podpór mostowych na fundamentach osłoniętych ścianką szczelną. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2012.

4. Oprogramowanie geotechniczne firmy Fine spol. s r. o.: GEO5 v14 (GEO MES), 2012.
5. Podręcznik Użytkownika dla oprogramowania geotechnicznego firmy Fine spol. s r. o.: GEO5 v14 (GEO MES), 2012.
6. Projekt budowlany. Obiekty inżynierskie – Most MO11S. Budowa obwodnicy Inowrocławia w ciągu drogi krajowej nr 15 i 25. Scott Wilson Sp. z o. o., Warszawa, 2011.
7. Wierzbicki S.: Podpory mostów. Wybrane zagadnienia. Metody wzmacniania fundamentów podpór. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1981.
8. Wiłun Z.: Zarys geotechniki. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2010.