

KOSZT REALIZACJI JAKO KRYTERIUM WYBORU SPOSOBU POSADOWIENIA BUDYNKU

Krzysztof STERNIK^{a*}, Szymon KITA^b

^a Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice

^b Primtech Szymon Kita, ul. Wiejska 9, 42-680 Tarnowskie Góry

Streszczenie: W praktyce inżynierskiej występują przypadki, w których ze względów technicznych możliwe jest przyjęcie alternatywnych sposobów posadowienia. Wówczas o sposobie posadowienia decyduje koszt jego realizacji. W artykule przedstawiono zestawienie kosztów zaprojektowanego posadowienia bezpośredniego i pośredniego hali z zadaniem łukowym. Zadaszenie oparte jest na ścianach o zróżnicowanej wysokości. Rozważa się dwie wysokości ścian ponad poziom terenu: 60 cm i 370 cm. Od wysokości ścian uzależnione są przede wszystkim wielkości sił poziomych oraz mimośrodków obciążenia fundamentów. To wpływa na wymiary i ciężar fundamentów, a w konsekwencji na koszty realizacji posadowienia. Zestawienie kosztów pokazuje, że nawet w gruntach nośnych bardziej opłacalny może okazać się fundament palowy.

Słowa kluczowe: analiza kosztów, posadowienie, zadaszenie łukowe hali.

1. Wprowadzenie

Koszt wykonania robót fundamentowych uzależniony jest od wielu czynników. Zwykle za najtańsze uznaje się fundamenty bezpośrednie. Stopy i ławy fundamentowe są najbardziej rozpowszechnione w dobrych i przeciętnych warunkach gruntowych. W trudnych warunkach gruntowych stosuje się zwykle pale lub płyty fundamentowe (Glinicki, 1984; Biernatowski i in., 1987; Grabowski i in., 1993; Das, 2007). Bywają jednak sytuacje, w których możliwe i uzasadnione jest wykonanie zarówno posadowienia bezpośredniego, jak i pośredniego. Warunki gruntowo-wodne nie mają wówczas decydującego znaczenia, a o sposobie posadowienia decyduje sposób obciążenia fundamentów. Siły przekazywane na fundamenty determinują ich wymiary. W ślad za tym zmieniają się koszty wykonania posadowienia.

Powszechnie w literaturze odnajduje się reguły poprawnego technicznie projektowania i wykonawstwa fundamentów (Cios i Garwacka-Piórkowska, 1999; Gwizdała, 2010; Pieczyrak, 1985; Rybak i in., 1997; Sieczka i Steckiewicz, 1982; Tomlinson, 1994; Wiłun, 1987). Różny jest również stopień zaawansowania algorytmów i metod do projektowania posadowień (Kosecki, 2006; Gwizdała, 2010; Mosher i Dawkins, 2000; Potts i Zdravković, 2001). Coraz liczniejsza jest również literatura omawiająca projektowanie posadowień

zgodnie z zasadami nowych norm europejskich (Pieczyrak, 2006; Kotlicki, 2009; Świeca, 2009; Mendera i in., 2012; Starosolski, 2012). Zauważa się jednak brak analiz techniczno-ekonomicznych rozwiązań posadowień pomocnych w codziennej pracy projektantów.

Celem artykułu jest porównanie kosztów wykonania fundamentów bezpośrednich i pośrednich, budynków z zadaniem łukowym, przy różnych wielkościach obciążenia oraz różnych charakterystykach podłoża. Obliczenia zostały przeprowadzone w oparciu o zalecenia zawarte w polskich normach dotyczących posadowienia bezpośredniego PN-81/B-03020 *Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie* i pośredniego PN-83/B-02482 *Nośność pali i fundamentów palowych*. Do wyceny materiałów i prac budowlanych związanych z posadowieniem korzystano z cenników SEKOCENBUD na IV kwartał 2011 roku oraz oferty firmy Keller Polska. Porównanie cen fundamentów pokazuje, że nawet w gruntach nośnych bardziej ekonomiczne może okazać się posadowienie na palach.

2. Założenia do analiz

2.1. Warunki gruntowe

Dla porównania przyjętych rozwiązań założono, że podłoże gruntowe jest jednorodne. Rozważano

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: Krzysztof.Sternik@polsl.pl

posadowienie zarówno w gruncie spoistym, jak i niespoistym. Przyjęto szeroki zakres stanów gruntów, charakteryzujący się odpowiednimi wskaźnikami:

- dla gruntu spoistego (głina piaszczysta) stopień plastyczności zmienia się w zakresie $I_L = 0,0-0,7$ co $0,1$;
- dla gruntu niespoistego (piasek średni wilgotny) stopień zagęszczenia zmienia się w zakresie $I_D = 0,2-0,8$ co $0,1$.

Wartości parametrów gruntów przyjęto za normą PN-81/B-03020 zależnie od I_D lub I_L .

2.2. Opis konstrukcji hali i rodzajów posadowienia

Rozważano posadowienie hali o wymiarach w osiach ścian 24×45 m. Do analiz przyjęto dwie wysokości ścian mierzone od poziomu terenu: 60 cm (ściana niska) oraz 370 cm (ściana wysoka). Na ścianach oparte zostało zadaszanie łukowe.

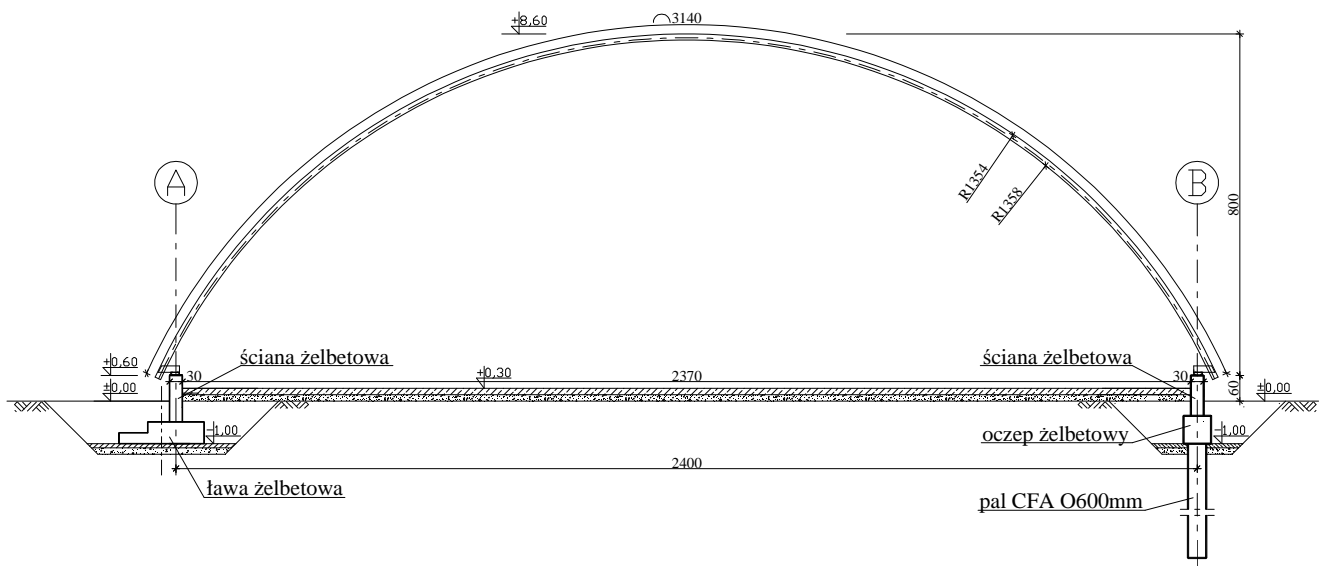
Z przyjęcia różnych wysokości ścian bocznych wynikają różne schematy statyczne konstrukcji hal oraz różne wartości obciążeń działających na fundamenty i różne wartości mimośrodów działania wypadkowej obciążenia $e = M_{max}/N_{max}$.

Przypadek I – ściana niska

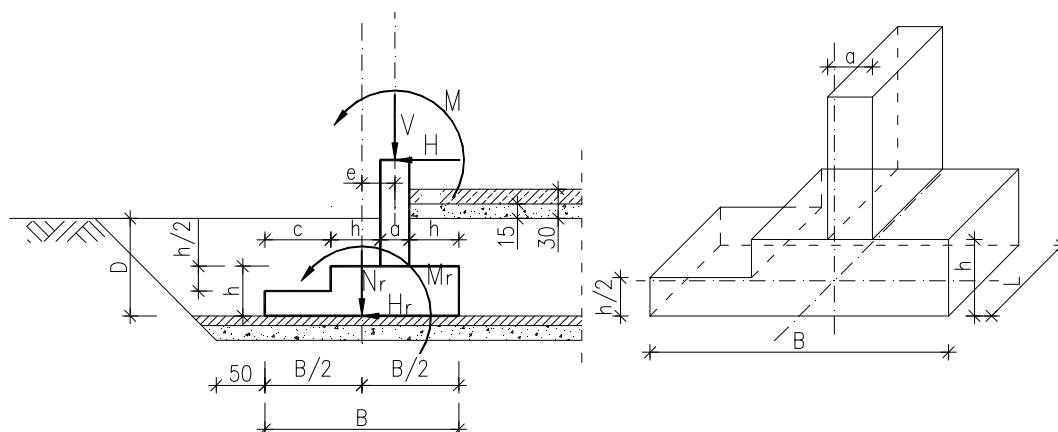
Wysokość, na której zamocowane jest zadaszanie łukowe mierzona od poziomu terenu, wynosi 60 cm. Ściana boczna, stanowiąca podparcie zadaszania, jest żelbetowa o grubości 30 cm, ciągła na całej długości hali. Pod ścianą, dla posadowienia bezpośredniego (przypadek Ia), zakłada się ławę żelbetową. Ława jest wysunięta nieco na zewnątrz budynku, aby zminimalizować wpływ momentu obracającego fundament pochodzącego od reakcji poziomej działającej na ramieniu równemu wysokości ściany. Rozwiązanie to przedstawione jest w osi „A” na rysunku 1.

Głębokość posadowienia ławy wynosi 1,0 m. W celu ograniczenia zużycia materiałów ława jest schodkowa (rys. 2). W obliczeniach jako stałe przyjęto następujące wymiary:

- $L = 1,0$ m – rozważana długość ławy,
- $a = 0,30$ m – szerokość ściany,
- $e = 0,31$ m – odległość osi ściany od osi podstawy ławy,
- $c = 0,62$ m – szerokość odsadzki.



Rys. 1. Przyjęte rozwiązania posadowienia dla hali o niskiej ścianie bocznej



Rys. 2. Założenia geometryczne dla ławy fundamentowej hali niskiej ścianie bocznej

Ze względu na rozważane bardzo zróżnicowane stany gruntów podłoża szerokość ławy B zależna jest od spełnienia warunku nośności oraz odrywania fundamentu od podłoża. W przypadku hali o niskiej ścianie bocznej szerokość ławy wynosi 1,85 m dla posadowienia w piasku bez względu na jego stan, zaś dla posadowienia w glinie zawierała się w granicach $B = 1,80-4,65$ m w zależności od rosnącej wartości stopnia plastyczności.

W obliczeniach założono, że nie wystąpi odrywanie fundamentu od podłoża, co oznacza, że wypadkowa obciążenia pozostaje w rdzeniu podstawy fundamentu. Dlatego mimośród obciążenia nie może być większy niż $e_{max} = B/6$.

W każdym przypadku wysokość ławy przyjmowana była jako $h = 0,3(B - a)$.

Jako alternatywne posadowienie hali o niskiej ścianie zakłada się posadowienie na palach CFA o średnicy 600 mm. Pale rozmieszczone są w jednym rzędzie w rozstawie co 1,0 m. Nad palami zakłada się oczep ciągły na całą długość ściany. Oczep jest usytuowany w osi ściany, a całość reakcji poziomej przekazywana jest na pale. Rozwiązanie to przedstawione jest w osi „B” na rysunku 1.

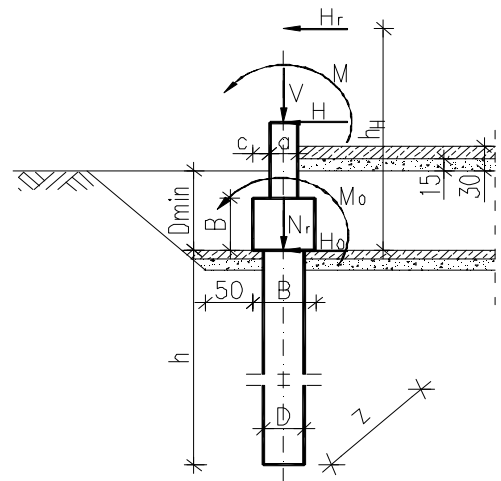
Połączenia między palami a oczepem oraz między żelbetową ścianą a oczepem zakłada się jako sztywne. Zakłada się głębokość posadowienia oczepu $D_{min} = 1,00$ m (jako $\pm 0,00$ przyjęto poziom terenu).

Pod oczepem przewiduje się następujące warstwy podbudowy:

- beton podkładowy grubości 10 cm,
- podsypka piaskowa grubości 15 cm (tylko w gruntach spoistych).

Do analizy przyjęto następujące wymiary fundamentu (rys. 3):

- $D = 0,60$ m – średnica pala,
- $B = D + 2 \times 0,10$ m = 0,80 m – szerokość oczepu,
- $z = 1,00$ m – osiowy rozstaw pali w oczepie,
- $a = 0,30$ m – szerokość ściany,
- $c = 0,25$ m – szerokość odsadzki.



Rys. 3. Założenia geometryczne dla posadowienia pośredniego hali o niskiej ścianie bocznej

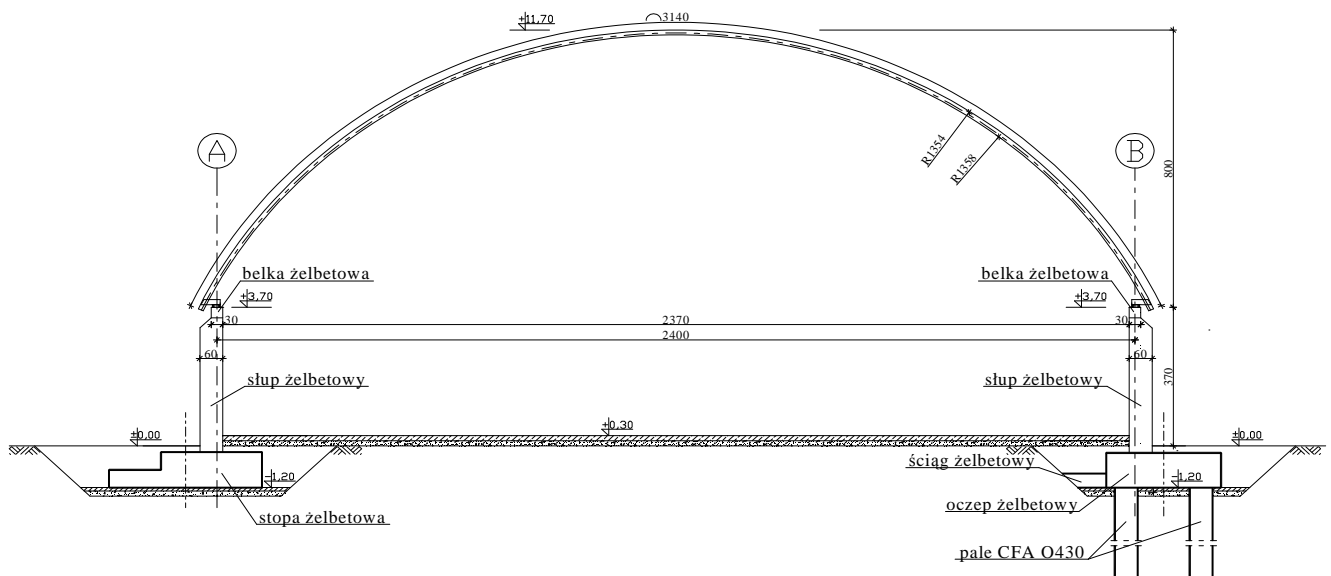
W zależności od rodzaju i stanu gruntów podłoża spełnienie warunku nośności poziomej pali wymaga przyjęcia zróżnicowanej ich długości:

- $h = 3,20-3,55$ m – długość pala w piasku,
- $h = 2,90-5,80$ m – długość pala w glinie.

Przypadek II – ściana wysoka

Wysokość, na której zamocowane jest zadaszenie łukowe, mierzona od poziomu terenu, wynosi 370 cm. Konstrukcja nośna, na której opiera się zadaszenie, to żelbetowa rama składająca się ze słupów o przekroju 30×60 cm w rozstawie 3,0 m oraz opierającej się na nich belki żelbetowej o przekroju 30×30 cm. Wypełnienie ramy stanowi ściana murowana o grubości 30 cm.

Pod słupami, dla posadowienia bezpośredniego, zakłada się stopy żelbetowe. Stopy są wysunięte nieco na zewnątrz, aby tak jak w przypadku posadowienia na ławach, zminimalizować wpływ momentu obracającego. Zakłada się, że połączenie słupa z fundamentem jest sztywne. Głębokość posadowienia założono 1,2 m poniżej poziomu terenu. Rozwiązanie to przedstawione jest w osi „A” na rysunku 4. Ściana



Rys. 4. Przyjęte rozwiązania posadowienia dla hali o wysokiej ścianie bocznej

wypełniająca posadowiona jest na ławach o wymiarach 60×30 cm pomiędzy stopami.

Pod stopą przewiduje się dwie warstwy podbudowy:

- beton podkładowy grubości 10 cm,
- podsypka piaskowa grubości 15 cm (tylko przy gruntach spoistych).

W obliczeniach jako stałe przyjęto następujące wymiary (rys. 5):

- $L = 4,00$ m – długość stopy,
- $h = 0,3(L - a) = 1,02$ m – wysokość stopy,
- $a = 0,60$ m – wysokość przekroju słupa,
- $b = 0,30$ m – szerokość przekroju słupa,
- $e = 0,68$ m – odległość osi słupa od osi podstawy stopy,
- $c = 1,36$ m – szerokość odsadzki.

Podobnie, jak w przypadku hali o niskiej ścianie bocznej, szerokość stopy B przyjmowano tak, aby spełnione były dwa warunki: nieprzekroczenia nośności podłoża oraz pozostawiania wypadkowej obciążenia w rdzeniu przekroju (brak odrywania fundamentu od podłoża). Posadowienie stóp w piasku w całym zakresie rozważanych stanów ($I_D = 0,2-0,8$) nie wymagało zróżnicowania szerokości stóp. W każdym przypadku wynosiła ona $B = 1,33$ m. Posadowienie w glinie wymagało zróżnicowania szerokości w zależności od stanu gruntu. W tym przypadku szerokość zmieniała się w zakresie $B = 1,33-2,85$ m.

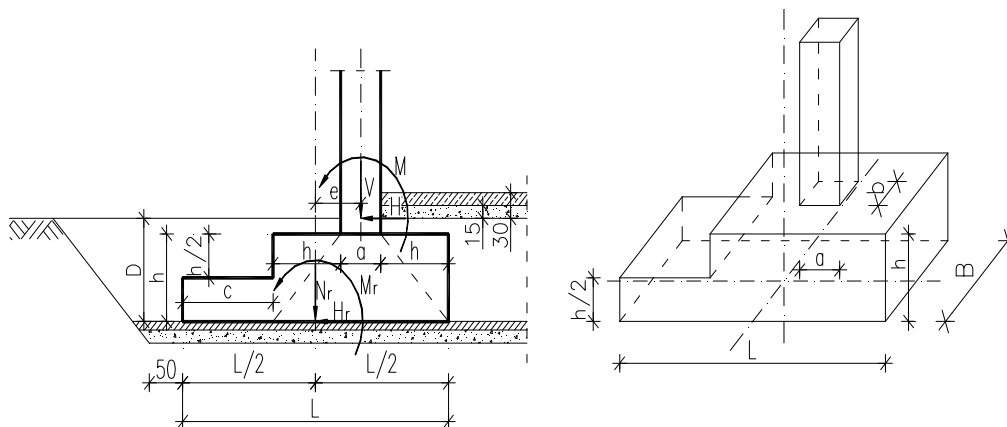
Również w przypadku hali o wysokiej ścianie rozważa

się posadowienie pośrednie. Ze względu na znaczne wartości momentu obracającego zakłada się posadowienie na dwóch palach CFA o średnicy 430 mm pod każdym słupem. Każda para pali zwieńczona jest odrębnym oczepem żelbetowym posadowionym na głębokości $D_{min} = 1,20$ m poniżej poziomu terenu. Dla przeniesienia siły poziomej zakłada się ściągi żelbetowe o wymiarach 40×40 cm. Dzięki założeniu dwóch pali, można zamienić moment wywracający na parę sił, zatem pale będą pracować wyłącznie na osiowe wciskanie lub wyciąganie. Rozwiązanie to przedstawione jest w osi „B” na rysunku 4. Ścianę wypełniającą opiera się na belkach żelbetowych opartych na oczepach.

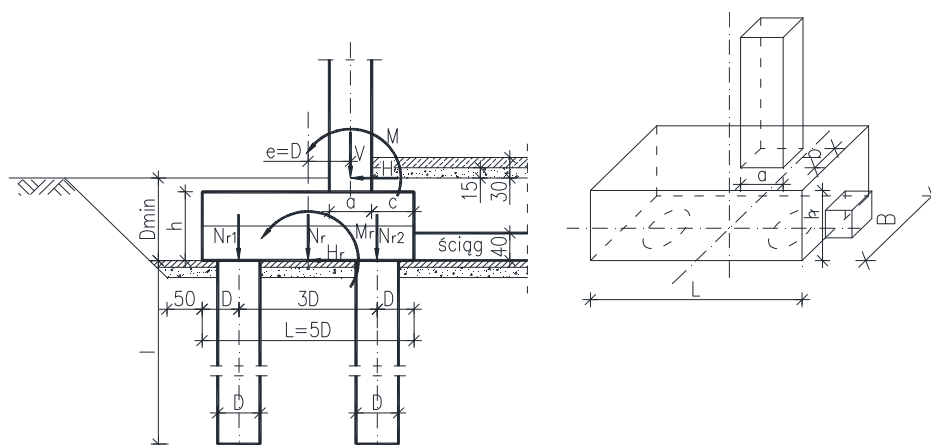
Pod oczepem przewiduje się podbudowę w dwóch warstwach: betonu podkładowego grubości 10 cm oraz w gruntach spoistych podsypkę piaskową grubości 15 cm. Założono stałe wymiary fundamentu (rys. 6):

- $D = 0,43$ m – średnica pala,
- $B = 2 \times D = 0,86$ m – szerokość oczepu,
- $L = 5 \times D = 2,15$ m – długość oczepu,
- $h = L / 4 = 0,54$ m – wysokość oczepu,
- $a = 0,60$ m – wysokość przekroju słupa,
- $b = 0,30$ m – szerokość przekroju słupa,
- $c = 0,345$ m – szerokość odsadzki.

Długość pali zmienia się w zależności od rodzaju i stanu gruntów. W piasku długość pali zawiera się w przedziale $l = 2,30-5,90$ m, zaś w glinie $l = 4,50-14,0$ m.



Rys. 5. Założenia geometryczne dla stóp fundamentowych hali o wysokiej ścianie bocznej



Rys. 6. Założenia geometryczne dla posadowienia pośredniego hali o wysokiej ścianie bocznej

3. Określenie nośności podłoża fundamentów

3.1. Hala o niskiej ścianie

Zestawienie obciążeń dla hali o niskiej ścianie przeprowadzono wyodrębniając powtarzalny wycinek hali, którego długość wynosi 1 m. W zestawieniu obciążeń wzięto pod uwagę ciężary: powłoki stalowej, ocieplenia, instalacji zgodnie z normą PN-82/B-02001 *Obciążenia budowli. Obciążenia stałe* oraz obciążenie wiatrem i śniegiem zgodnie z normami PN-77/B-02011/Az1 *Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie wiatrem* i PN-EN 1991-1-3:2005 *Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne. Obciążenia śniegiem*. Schemat statyczny konstrukcji przyjęto jako łuk podparty przegubowo-nieprzesuwnie (rys. 7).

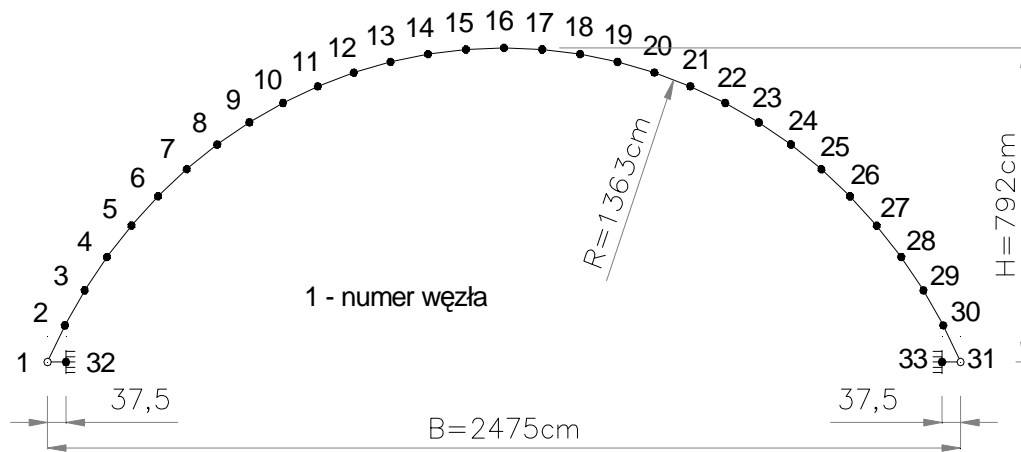
Reakcje w miejscach podparcia zadaszania, to jest w węzłach 32 i 33, uwzględniając kombinacje obciążeń działające na konstrukcję, wyznaczono za pomocą programu RM-WIN. Największe wartości reakcji są w obu węzłach jednakowe co do wartości bezwzględnej

i wynoszą:

- $H = 17,30$ kN – reakcja pozioma,
- $V = 25,25$ kN – reakcja pionowa,
- $M = 8,94$ kNm – moment zginający,
- $e = M / V = 0,354$ m – mimośród działania wypadkowej obciążenia.

W przypadku posadowienia bezpośredniego, po uwzględnieniu ciężarów: łąwy N_s , ściany N_{sc} , naziomu N_G , podsypki pod posadzką N_{P1} , posadzki N_{P2} wzrosło obciążenie pionowe N_r sprowadzone do poziomu posadowienia oraz wartość momentu M_r . Wartość składowej poziomej obciążenia H_r pozostała bez zmian. Zmieniła się wartość mimośrodu działania wypadkowej obciążenia $e_s = M_r / N_r$ i jej kąt odchylenia od pionu $\delta = \arctg(H_r / N_r)$. Są to dwie wielkości, które decydują o przyjętej szerokości łąwy fundamentowej.

Wartości obliczeniowego oporu granicznego podłoża dla gruntu niespoistego o stopniu zagęszczenia $I_D = 0,2-0,8$ oraz spoistego o stopniu plastyczności $I_L = 0,0-0,7$ wyznaczono zgodnie z normą PN-81/B-03020. Wyniki obliczeń są zestawione w tabelach 1 i 2.



Rys. 7. Schemat statyczny zadaszania hali o niskiej ścianie

Tab. 1. Wyniki obliczeń posadowienia bezpośredniego w piasku dla hali o niskiej ścianie

| Stan gruntu | Założenia | | | Wyniki obliczeń | | | | | | | | |
|--------------|--------------|------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------------|--------------------------|------------|----------------------------|--|--------------------|
| | Wymiary łąwy | | Obciążenie | Mimośrody | | | Szerokość zredukowana | Obliczeniowy opór gruntu | | Wykorzystanie nośności [%] | | |
| I_D [-] | B [m] | h [m] | N_r [kN] | M_r [kNm] | H_r [kN] | e_s [cm] | e_{max} [cm] | e_s/e_{max} [%] | B [m] | | $\text{tg } \delta (\text{tg } \phi^{(r)})$ [-] | $m Q_{fN}$ [kN] |
| 0,2 | | | 78,7 | 22,7 | | 28,9 | 30,8 | 93,8 | 1,27 | 0,41 | 397 | 19,8 |
| 0,3 | | | 78,7 | 22,7 | | 28,9 | 30,8 | 93,8 | 1,27 | 0,40 | 419 | 18,8 |
| 0,4 | | | 79,3 | 22,8 | | 28,7 | 30,8 | 93,2 | 1,28 | 0,39 | 487 | 16,3 |
| 0,5 | 1,85 | 0,47 | 79,3 | 22,8 | 17,3 | 28,7 | 30,8 | 93,2 | 1,28 | 0,38 | 529 | 15,0 |
| 0,6 | | | 79,3 | 22,8 | | 28,7 | 30,8 | 93,2 | 1,28 | 0,37 | 572 | 13,9 |
| 0,7 | | | 79,8 | 22,8 | | 28,6 | 30,8 | 92,9 | 1,27 | 0,36 | 608 | 13,1 |
| 0,8 | | | 79,8 | 22,8 | | 28,6 | 30,8 | 92,9 | 1,27 | 0,35 | 654 | 12,2 |

Tab. 2. Wyniki obliczeń posadowienia bezpośredniego w glinie dla hali o niskiej ścianie

| Stan gruntu | Założenia | | | | | Wyniki obliczeń | | | | | | Wykorzystanie nośności [%] |
|--------------|---------------|------------|---------------|----------------|---------------|-----------------|-------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------|----------------------------|
| | Wymiary stopy | | Obciążenie | | | Mimośrod | | | Szerokość zredukowana | Obliczeniowy opór gruntu | | |
| I_L [-] | B [m] | h [m] | N_r [kN] | M_r [kNm] | H_r [kN] | e_s [cm] | e_{max} [cm] | e_s/e_{max} [%] | B [m] | $tg\delta tg\phi^{(r)}$ [-] | mQ_{fN} [kN] | |
| 0,7 | 4,65 | 1,0 | 162 | 19,0 | 17,3 | 11,8 | 77,5 | 15,2 | 4,41 | 0,999 | 167 | 96,7 |
| 0,6 | 3,5 | 0,96 | 132 | 4,5 | | 3,41 | 58,3 | 5,85 | 3,43 | 0,993 | 162 | 80,9 |
| 0,5 | 2,8 | 0,75 | 111 | 13,3 | | 12,5 | 46,7 | 25,8 | 2,56 | 0,988 | 159 | 69,4 |
| 0,4 | 2,3 | 0,60 | 95,4 | 18,6 | | 19,5 | 38,3 | 50,8 | 1,91 | 0,984 | 146 | 65,3 |
| 0,3 | 1,9 | 0,48 | 83,6 | 22,5 | | 27,0 | 31,7 | 85,2 | 1,36 | 0,984 | 124 | 67,4 |
| 0,2 | 1,8 | 0,48 | 81,8 | 23,6 | | 28,9 | 30,0 | 96,2 | 1,22 | 0,893 | 172 | 47,5 |
| 0,1 | 1,8 | 0,48 | 81,8 | 23,6 | | 28,9 | 30,0 | 96,2 | 1,22 | 0,803 | 258 | 31,7 |
| 0,0 | 1,8 | 0,48 | 81,8 | 23,6 | | 28,9 | 30,0 | 96,2 | 1,22 | 0,728 | 353 | 23,2 |

W celu wyznaczenia obciążeń działających na 1 m długości fundamentu palowego do reakcji podporowych ze schematu statycznego zadania należy doliczyć obliczeniowe wartości ciężarów: pala G_p , oczepu N_o , ściany N_s , naziomu N_G , podsypki pod posadzką N_{p1} , posadzki N_{p2} . Uwzględnienie tych obciążeń powoduje wzrost obciążenia pionowego N_r oraz obciążenia momentem działającymi na oczep w poziomie posadowienia M_r , zaś obciążenie poziome H_r pozostaje niezmiennione. Ze względu na założony rozstaw pali równy 1,0 m obliczeniowe wartości momentu i obciążenia poziomego działające na jeden pal są równe obciążeniom działającym na 1 m oczepu.

Wartości obliczeniowej nośności fundamentu palowego posadowionego w gruncie niespoistym o stopniu zagęszczenia $I_D = 0,2-0,8$ oraz spoistym o stopniu plastyczności $I_L = 0,0-0,7$ wyznaczono zgodnie z normą PN-83/B-02482. W każdym przypadku określono nośność pionową i poziomą pali. Wyniki obliczeń są zestawione w tabelach 3 i 4.

3.2. Hala o wysokiej ścianie

Schemat statyczny zadania hali o wysokiej ścianie bocznej to łuk oparty przegubowo na wspornikowych słupach z niewielkimi wspornikami (37,5 cm). Łuk podzielono na 30 równych odcinków, połączonych sztywno ze sobą (rys. 8). Obliczenia statyczne przypadku II wykonano za pomocą programu RM-WIN zestawiając obciążenia dla odcinka hali o długości 3,0 m.

Kombinacje obciążeń uwzględnione jak w przypadku I hali o niskiej ścianie bocznej prowadzą do ekstremalnych wartości reakcji w węzłach 34 i 35:

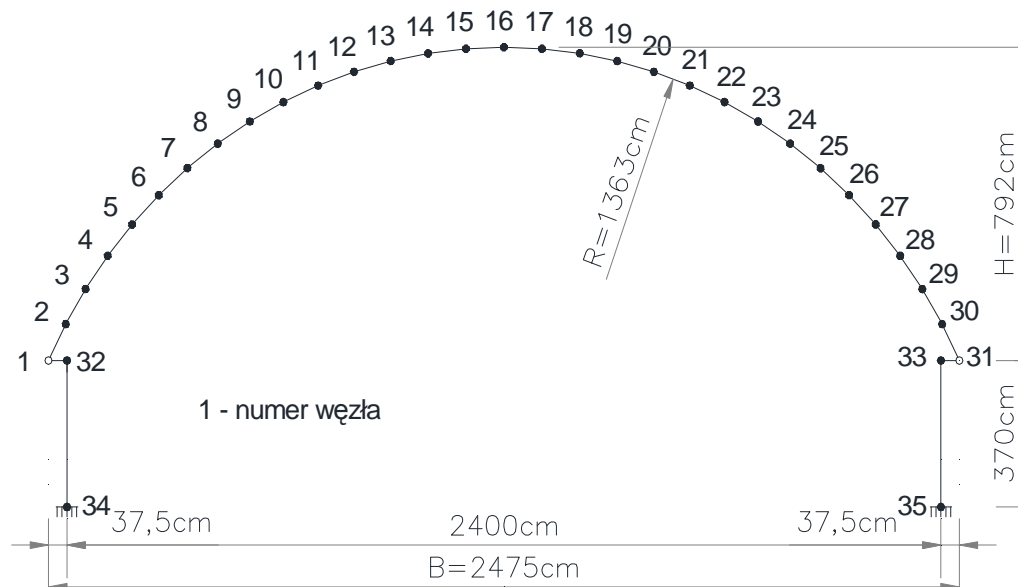
- $H = 46,0$ kN – reakcja pozioma,
- $V = 96,8$ kN – reakcja pionowa,
- $M = 184,9$ kNm – moment zginający,
- $e = M / V = 1,91$ m – mimośród działania wypadkowej obciążenia.

Tab. 3. Wyniki obliczeń posadowienia pośredniego w piasku dla hali o niskiej ścianie

| Stan gruntu | Założenia | | | | Wyniki obliczeń | | Wykorzystanie nośności | |
|--------------|--------------|------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------------|------------------------|--------------|
| | Długość pala | Siły działające na pal | | | Nośność pala | | pionowej [%] | poziomej [%] |
| | | h [m] | N_r [kN] | H_r [kN] | mN_t [kN] | mH_f [kN] | | |
| I_D [-] | h [m] | N_r [kN] | H_r [kN] | mN_t [kN] | mH_f [kN] | pionowej [%] | poziomej [%] | |
| 0,2 | 3,55 | 81,2 | 17,3 | 135 | 17,45 | 60,3 | 99,2 | |
| 0,3 | 3,50 | 80,8 | | 175 | 17,37 | 46,2 | 99,6 | |
| 0,4 | 3,45 | 80,5 | | 208 | 17,43 | 38,8 | 99,3 | |
| 0,5 | 3,40 | 80,1 | | 239 | 17,42 | 33,9 | 99,3 | |
| 0,6 | 3,35 | 79,7 | | 264 | 17,32 | 30,2 | 99,9 | |
| 0,7 | 3,30 | 79,4 | | 299 | 17,46 | 26,6 | 99,1 | |
| 0,8 | 3,20 | 78,6 | | 345 | 17,37 | 22,8 | 99,6 | |

Tab. 4. Wyniki obliczeń posadowienia pośredniego w glinie dla hali o niskiej ścianie

| Stan gruntu | Założenia | | | Wyniki obliczeń | | Wykorzystanie nośności | |
|----------------|--------------|------------------------|---------------|-----------------|----------------|------------------------|-----------------|
| | Długość pala | Siły działające na pal | | Nośność pala | | pionowej [%] | poziomej [%] |
| | | N_r [kN] | H_r [kN] | pionowa | pozioma | | |
| I_D [-] | h [m] | | | mN_l [kN] | mH_f [kN] | | |
| 0,7 | 5,80 | 98,9 | | 126 | 17,47 | 78,3 | 99,0 |
| 0,6 | 5,25 | 94,7 | | 148 | 17,46 | 63,9 | 99,1 |
| 0,5 | 4,60 | 89,7 | | 154 | 17,36 | 58,4 | 99,6 |
| 0,4 | 4,30 | 87,4 | | 161 | 17,47 | 54,2 | 99,1 |
| 0,3 | 4,00 | 85,1 | 17,3 | 165 | 17,41 | 51,5 | 99,4 |
| 0,2 | 3,60 | 82,1 | | 160 | 17,45 | 51,4 | 99,1 |
| 0,1 | 3,20 | 78,9 | | 150 | 17,45 | 52,5 | 99,1 |
| 0,0 | 2,90 | 76,6 | | 145 | 17,39 | 52,9 | 99,5 |



Rys. 8. Schemat statyczny zadania hali o wysokiej ścianie bocznej

Zestawienia obciążeń działających na stopy fundamentowe uzupełniają wartości ciężarów: stopy N_s , słupa N_{sl} , naziomu N_G , podsypki posadzki N_{p1} , posadzki N_{p2} . Ich uwzględnienie zwiększa obciążenie pionowe oraz moment działające w poziomie posadowienia. Wartość siły poziomej działającej na fundament pozostaje bez zmian. Zmienia się zatem, tak jak w przypadku hali o niskiej ścianie bocznej, wartość mimośrodru e_s oraz kąt nachylenia wypadkowej obciążenia δ . I tym razem są to wielkości decydujące o wymiarach stóp fundamentowych.

Wyniki obliczeń nośności stóp fundamentowych posadowionych w piasku i glinie o założonych stanach są przedstawione odpowiednio w tabeli 5 i 6.

W przypadku posadowienia pośredniego obciążenia działające na oczepy pali pod każdym słupem hali należało uzupełnić o wartości ciężarów: pali G_{rp} , oczepu N_o , słupa poniżej poziomu terenu (poziomu $\pm 0,00$) N_s ,

naziomu N_G , podsypki posadzki N_{p1} , podłogi N_{p2} . Uwzględnienie powyższych obciążeń powoduje wzrost wartości siły pionowej działającej na oczep w poziomie posadowienia. Wzrasta również wartość momentu obracającego oczep.

Dzięki zastosowaniu pary pali pod każdym słupem hali moment obracający oczep można w obliczeniach zastąpić parą sił. W efekcie pale pracują jako wciskane bądź wyciągane. Ze względu na zastosowanie ściągu żelbetowego można przyjąć, że na oczep nie działa siła pozioma.

Wyniki obliczeń nośności fundamentów palowych hali o wysokiej ścianie bocznej posadowionych w piasku i glinie o założonych stanach są przedstawione odpowiednio w tabeli 7 i 8.

Tab. 5. Wyniki obliczeń posadowienia bezpośredniego w piasku dla hali o wysokiej ścianie

| Stan gruntu | Założenia | | | | | Wyniki obliczeń | | | | | Wykorzystanie nośności [%] |
|--------------|---------------|------------|---------------|----------------|---------------|-----------------|-------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------|----------------------------|
| | Wymiary stopy | | Obciążenie | | | Mimośrodry | | | Obliczeniowy opór gruntu | | |
| I_D [-] | B [m] | h [m] | N_r [kN] | M_r [kNm] | H_r [kN] | e_s [cm] | e_{max} [cm] | e_s/e_{max} [%] | $tg\delta/tg\phi^{(r)}$ [-] | mQ_{fNB} [kN] | |
| 0,2 | | | 250 | 164,8 | | | | | 0,35 | 1265 | 19,7 |
| 0,3 | | | 250 | 164,8 | | | | | 0,34 | 1362 | 18,3 |
| 0,4 | | | 251 | 165,5 | | | | | 0,33 | 1473 | 17,0 |
| 0,5 | 1,33 | 1,02 | 251 | 165,5 | 46,0 | 66,0 | 66,7 | 99,0 | 0,32 | 1571 | 16,0 |
| 0,6 | | | 251 | 165,5 | | | | | 0,31 | 1676 | 15,0 |
| 0,7 | | | 252 | 166,2 | | | | | 0,31 | 1832 | 13,8 |
| 0,8 | | | 252 | 166,2 | | | | | 0,30 | 1979 | 12,7 |

Tab. 6. Wyniki obliczeń posadowienia bezpośredniego w glinie dla hali o wysokiej ścianie

| Stan gruntu | Założenia | | | | | Wyniki obliczeń | | | | | Wykorzystanie nośności [%] |
|--------------|---------------|------------|---------------|----------------|---------------|-----------------|-------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------|----------------------------|
| | Wymiary stopy | | Obciążenie | | | Mimośrodry | | | Obliczeniowy opór gruntu | | |
| I_L [-] | B [m] | h [m] | N_r [kN] | M_r [kNm] | H_r [kN] | e_s [cm] | e_{max} [cm] | e_s/e_{max} [%] | $tg\delta/tg\phi^{(r)}$ [-] | mQ_{fNB} [kN] | |
| 0,7 | 2,85 | | 433 | 160,8 | | 37,2 | 66,7 | 55,7 | 0,99 | 671 | 64,5 |
| 0,6 | 2,15 | | 350 | 164,0 | | 46,8 | 66,7 | 70,2 | 0,99 | 482 | 72,7 |
| 0,5 | 1,65 | | 294 | 168,0 | | 57,1 | 66,7 | 85,7 | 0,99 | 369 | 79,7 |
| 0,4 | 1,33 | 1,02 | 256 | 169,1 | 46,0 | 66,1 | 66,7 | 99,1 | 0,97 | 307 | 83,5 |
| 0,3 | 1,33 | | 256 | 169,1 | | 66,1 | 66,7 | 99,1 | 0,85 | 456 | 56,3 |
| 0,2 | 1,33 | | 258 | 170,5 | | 66,1 | 66,7 | 99,1 | 0,75 | 620 | 41,7 |
| 0,1 | 1,33 | | 258 | 170,5 | | 66,1 | 66,7 | 99,1 | 0,68 | 825 | 31,4 |

Tab. 7. Wyniki obliczeń posadowienia pośredniego w piasku dla hali o wysokiej ścianie

| Stan gruntu | Założenia | | | | | Wyniki obliczeń | | Wykorzystanie nośności | |
|-------------|--------------|---------------|----------------|-------------------------|------------------|-----------------|----------------|------------------------|---------------|
| | Długość pala | Obciążenie | | Siły działające na pale | | Nośności pali | | wciśkany [%] | wyciągany [%] |
| | | N_r [kN] | M_r [kNm] | N_{r1} [kN] | N_{r2} [kN] | mN_t [kN] | mN_w [kN] | | |
| 0,2 | 5,90 | 153,2 | 194,9 | 251 | - 50,9 | 252 | 129,6 | 99,7 | 39,3 |
| 0,3 | 4,75 | 153,2 | 194,9 | 247 | - 55,5 | 249 | 116,3 | 99,1 | 47,7 |
| 0,4 | 4,05 | 153,9 | 194,9 | 244 | - 58,0 | 246 | 106,8 | 99,2 | 54,3 |
| 0,5 | 3,55 | 153,9 | 194,9 | 242 | - 60,0 | 244 | 99,4 | 99,3 | 60,3 |
| 0,6 | 3,15 | 153,9 | 194,9 | 241 | - 61,6 | 242 | 93,1 | 99,4 | 66,1 |
| 0,7 | 2,75 | 154,5 | 194,9 | 239 | - 62,8 | 241 | 87,4 | 99,4 | 71,9 |
| 0,8 | 2,30 | 154,5 | 194,9 | 238 | - 64,6 | 239 | 81,5 | 99,3 | 79,3 |

Tab. 8. Wyniki obliczeń posadowienia pośredniego w glinie dla hali o wysokiej ścianie

| Stan gruntu | Założenia | | | | | Wyniki obliczeń | | Wykorzystanie nośności | |
|-------------|--------------|------------|-------------|-------------------------|---------------|-----------------|-------------|------------------------|---------------|
| | Długość pala | Obciążenie | | Siły działające na pale | | Nośności pali | | wciśkany [%] | wyciągany [%] |
| | | N_r [kN] | M_r [kNm] | N_{r1} [kN] | N_{r2} [kN] | wciśkany | wyciągany | | |
| I_D [-] | l [m] | | | | | mN_t [kN] | mN_w [kN] | | |
| 0,7 | 14,0 | 155,8 | 194,9 | 285 | - 17,2 | 287 | 189,5 | 99,3 | 9,10 |
| 0,6 | 8,70 | 155,8 | 194,9 | 264 | - 38,4 | 265 | 163,8 | 99,7 | 23,4 |
| 0,5 | 7,00 | 157,1 | 194,9 | 258 | - 44,6 | 260 | 158,7 | 99,3 | 28,1 |
| 0,4 | 6,30 | 157,1 | 194,9 | 255 | - 47,3 | 256 | 148,4 | 99,6 | 31,9 |
| 0,3 | 5,75 | 157,1 | 194,9 | 253 | - 49,5 | 254 | 140,8 | 99,3 | 35,2 |
| 0,2 | 5,30 | 158,4 | 194,9 | 251 | - 50,7 | 254 | 134,6 | 98,9 | 37,7 |
| 0,1 | 4,90 | 158,4 | 194,9 | 250 | - 52,7 | 253 | 128,6 | 98,7 | 40,7 |

4. Przedmiary i kosztorysy

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń projektowych przedstawionych w punkcie 3 oraz zwiarytowania zbrojenia sporządzono przedmiary robót fundamentowych i zestawienie kosztów wykonania wszystkich wariantów posadowień. Do sporządzenia kosztorysów posłużono się programem Norma Pro.

W przypadku hali o ścianie niskiej posadowionej na ławie fundamentowej przedmiar i kosztorys robót uwzględnił wykonanie konstrukcji fundamentu (ławy fundamentowej lub pali wraz z oczepem oraz ich zbrojenie), roboty ziemne (wykonanie wykopu, zasyp, wywóz, utylizację, pokrycie humusem), podbudowę z piasku i betonu podkładowego, izolację przeciwwilgociową poziomą i pionową, izolację termiczną. Przedmiar i koszty dotyczyły wycinka hali o długości 1 m.

W przypadku hali o ścianie wysokiej zmieniają się pozycje dotyczące konstrukcji fundamentu. Uwzględniono przedmiar i koszty wykonania stopy fundamentowej, ławy pod ścianę. Pozostałe pozycje kosztorysowe były analogiczne, jak dla hali o niskiej ścianie bocznej.

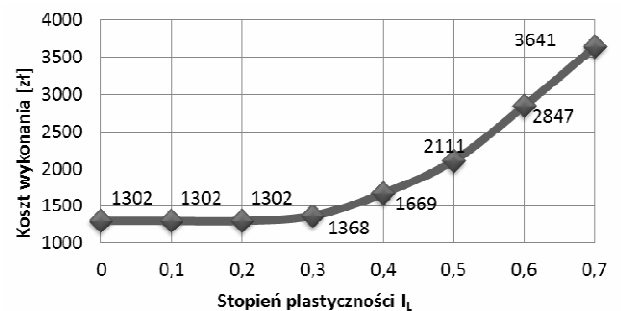
4.1. Koszt realizacji posadowienia hali o niskiej ścianie

Wymiary ław fundamentowych posadowienia w piasku nie różnią się bez względu na jego stan. Zatem również koszt wykonania jest stały i wynosi według sporządzonego kosztorysu 1341 zł.

Koszt wykonania 1 m ław fundamentowych posadowienia w glinie w stanie twaroplastycznym ($I_L < 0,3$) jest nieco niższy niż przy posadowieniu w piasku i wynosi 1302 zł. Jednak, wraz z pogarszającym się stanem gliny szerokość ławy, a co za tym idzie i jej koszt rośnie. W skrajnym przypadku, dla $I_L = 0,7$, koszt wykonania fundamentu wzrasta prawie trzykrotnie stosunku do kosztów przy niskim I_L .

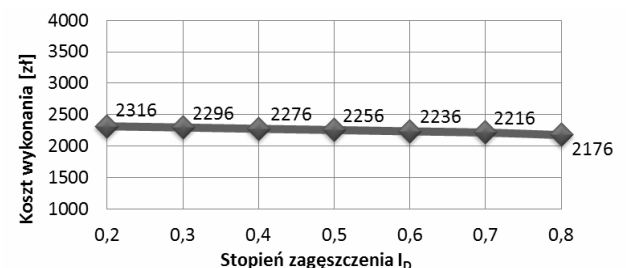
W tych rozważaniach pominięty został techniczny aspekt możliwości wykonania fundamentu na bardzo słabym gruncie. Nie bierze się pod uwagę kosztów

ewentualnego wzmocnienia powierzchniowego podłoża, jak na przykład wykonania platformy roboczej z materiału gruboziarnistego zagęszczonego mechanicznie lub powierzchniowego wzmocnienia geosyntetykami. Szczegółowe zestawienie kosztów wykonania posadowienia w glinie hali o niskiej ścianie bocznej przedstawia wykres na rysunku 9.



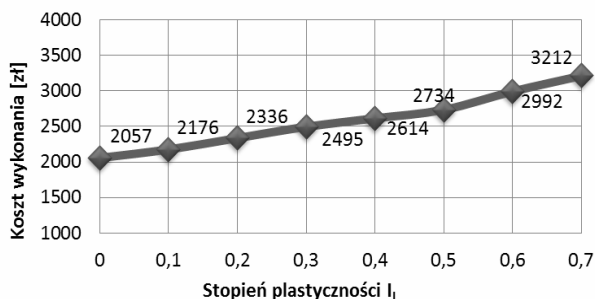
Rys. 9. Koszty realizacji posadowienia bezpośredniego w glinie hali o niskiej ścianie

Koszt posadowienia pośredniego w piasku hali o niskiej ścianie bocznej zmienia się tylko nieznacznie wraz z pogarszającym się stanem podłoża. Jediną pozycją, która wpływa na koszty jest zmieniająca się nieznacznie długość pali (od 3,20 m przy $I_D = 0,8$ do 3,55 m przy $I_D = 0,2$). Różnica kosztów w skrajnych warunkach wynosi około 6%. Zmianę kosztów wykonania posadowienia pośredniego w piasku o zmieniającym się stanie pokazują wykres na rysunku 10.



Rys. 10. Koszt realizacji posadowienia pośredniego w piasku hali o niskiej ścianie

W przypadku posadowienia pośredniego projektowanego w glinie różnice w kosztach wykonania są znaczące dla różnych stanów gruntu podłoża. Wynika to ze znacznego wzrostu długości pali. Długość pali w glinie o $I_L = 0,0$ jest o połowę mniejsza niż w glinie o $I_L = 0,7$. W związku z tym koszt wykonania fundamentu w glinie w stanie miękkoplastycznym jest o 56% wyższy niż w glinie w stanie półzwałym (rys. 11).

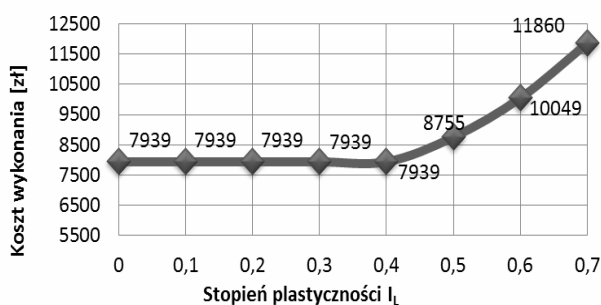


Rys. 11. Koszt realizacji posadowienia pośredniego w glinie hali o niskiej ścianie

4.2. Koszt realizacji posadowienia hali o wysokiej ścianie

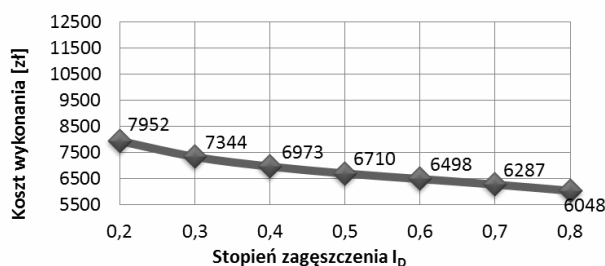
Niezależnie od stopnia zagęszczenia piasku w podłożu stopy fundamentowe hali o wysokiej ścianie bocznej mają te same wymiary. Tym samym koszty wykonania posadowień bezpośrednich na tych gruntach są stałe i wynoszą według sporządzonego kosztorysu 7939 zł dla powtarzalnej sekcji hali o długości 3 m.

Koszt posadowienia bezpośredniego w glinie w stanie twardoplastycznym i plastycznym ($I_L \leq 0,4$) nie zmienia się i wynosi tyle samo co koszt posadowienia bezpośredniego w piasku, to jest 7939 zł. Dla podłoża o stopniu plastyczności $I_L > 0,4$ wykonanie fundamentów drożeje ze względu na zwiększające się wymiary stóp (rys. 12).



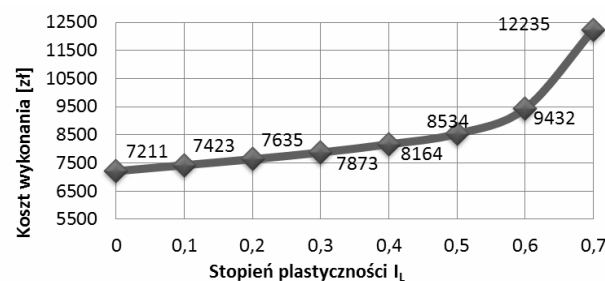
Rys. 12. Koszt realizacji posadowienia bezpośredniego w glinie hali o wysokiej ścianie

Podobnie, jak w przypadku posadowienia hali o niskiej ścianie bocznej, koszt realizacji posadowienia pośredniego w piasku hali o wysokiej ścianie uzależniony jest od długości pali. Ponownie, różnica kosztów w rozważanych skrajnych przypadkach nie jest duża i wynosi około 6% (rys. 13). Niemniej, cena wykonania fundamentów pośrednich hali o wysokiej ścianie jest około trzykrotnie wyższa niż dla hali o niskiej ścianie.



Rys. 13. Koszty realizacji posadowienia pośredniego w piasku hali o wysokiej ścianie bocznej

Przy posadowieniu w glinie wzrost kosztów wykonania posadowienia pośredniego wzrasta wraz ze wzrostem stopnia plastyczności. Różnica kosztów przy skrajnych wartościach stopnia plastyczności ($I_L = 0,0-0,7$) wynosi około 70%. Przy czym gwałtowny wzrost kosztów obserwuje się w stanie miękkoplastycznym, to jest od $I_L = 0,6$ do $I_L = 0,7$ (rys. 14).

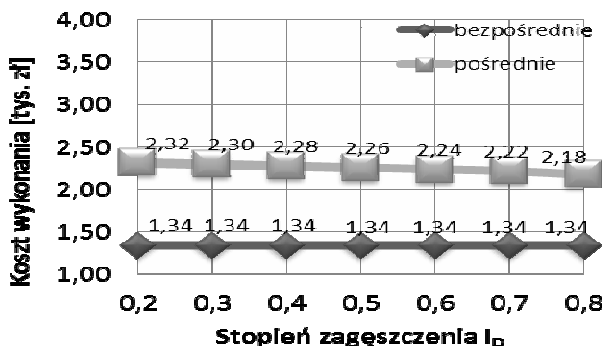


Rys. 14. Koszty realizacji posadowienia pośredniego w glinie hali o wysokiej ścianie

4.3. Porównanie kosztów posadowień

Ogółem przeanalizowano 60 wariantów posadowień przy różnych obciążeniach i w różnych warunkach gruntowych.

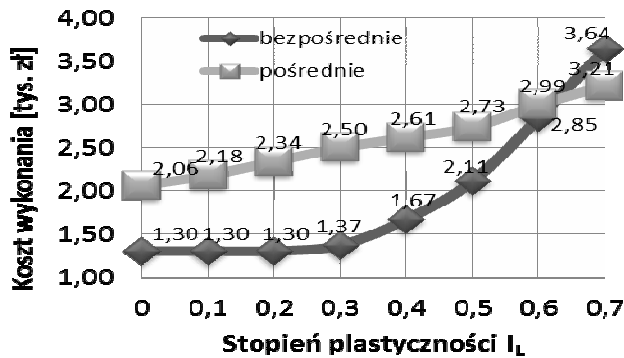
W większości przypadków posadowienia hali o niskiej ścianie bocznej koszty fundamentów bezpośrednich były znacząco niższe niż koszty fundamentów pośrednich. Wykazano, że w gruntach niespoistych zastosowanie posadowienia pośredniego jest droższe o około 60-70%, niezależnie od stopnia zagęszczenia gruntu (rys. 15).



Rys. 15. Porównanie kosztów posadowienia w piasku hali o niskiej ścianie

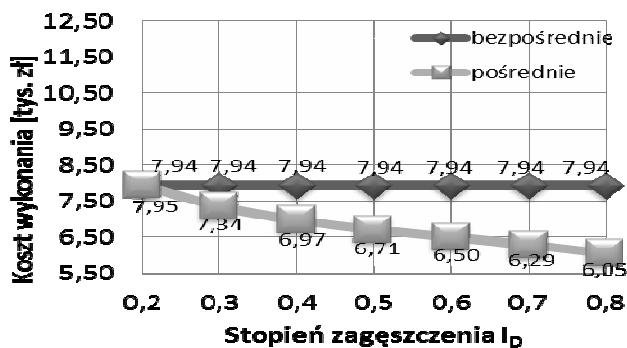
Relacje odwracają się w przypadku posadowienia w glinie w stanie miękkoplastycznym. Koszty są porównywalne dla stanów charakteryzujących się

stopniem plastyczności $I_L > 0,60$, przy czym gdy $I_L > 0,65$ posadowienie pośrednie jest bardziej ekonomiczne (rys. 16).



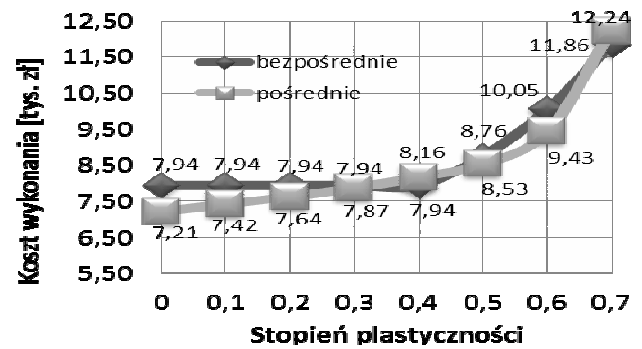
Rys. 16. Porównanie kosztów posadowienia w glinie hali o niskiej ścianie

W przypadku hali o wysokiej ścianie bocznej uwidacznia się przewaga ekonomiczna posadowienia pośredniego. Niemal w całym analizowanym zakresie stanów piasku posadowienie na palach okazało się tańsze niż posadowienie bezpośrednie. Różnica na korzyść posadowienia pośredniego przekracza 30% w gruncie o stopniu zagęszczenia $I_D = 0,8$. Jedynie w przypadku gruntu o najmniejszym stopniu zagęszczenia, to jest $I_D = 0,2$, długość pali jest na tyle duża, że nieznacznie przekracza koszt stóp fundamentowych (rys. 17). Podobnie jest w przypadku posadowienia hali o wysokiej ścianie bocznej w glinie.



Rys. 17. Porównanie kosztów posadowienia w piasku hali o wysokiej ścianie

Fundament palowy okazał się być tańszy niemal w całym zakresie rozważanych stanów podłoża. Wyraźnie korzystniej pale wypadają w glinie w stanie twaroplastycznym na pograniczu półzwarłego. Niemniej, różnice w kosztach nie przekraczają 10% dla obu sposobów posadowień (rys. 18). Są one na tyle małe, iż niewielka zmiana założeń geometrycznych przy obliczaniu fundamentów, mogłaby dać wynik odwrotny od uzyskanego. Zatem nie można jednoznacznie określić, który ze sposobów posadowienia jest bardziej ekonomiczny.



Rys. 18. Porównanie kosztów posadowienia w glinie hali o wysokiej ścianie

5. Podsumowanie i wnioski

W artykule przeanalizowano posadowienie dwóch konstrukcji hal z zadaszeniem łukowym: ze ścianą boczną niską o wysokości 60 cm i ścianą boczną wysoką o wysokości 370 cm. Wysokość ścian hali wpływa na wielkość obciążeń przekazywanych na fundamenty. Rozważano dwa sposoby posadowienia: bezpośrednie i pośrednie, w zmieniających się warunkach gruntowych. Dla uproszczenia przyjęto, że podłoże hal jest jednorodne, zbudowane w jednym wariancie z gliny, a w drugim z piasku. Pod uwagę wzięto szeroki zakres stanów podłoża: dla piasku $I_D = 0,2-0,8$, dla gliny $I_L = 0,0-0,7$.

Posadowienie bezpośrednie hali o niskiej ścianie rozważano w postaci łań fundamentowych, zaś hali o wysokiej ścianie – stóp fundamentowych, pomiędzy którym założono wykonanie łań pod ścianę wypełniającą przestrzeń między słupami hali. Posadowienie pośrednie hali o niskiej ścianie założono w postaci pojedynczego rzędu pali CFA zwieńczonego oczepem. Dla hali o wysokiej ścianie bocznej założono po dwa pale pod każdym słupem. Oczepy wieńczące pale są prostokątne w rzucie, a na nich opiera się belka podwalinowa stanowiąca oparcie ściany między słupami. Dodatkowa różnica w schemacie statycznym między halą o niskiej ścianie a halą o wysokiej ścianie polega na zastosowaniu w tej ostatniej ściągów poprzecznych między słupami ramy przejmujących obciążenia poziome działające na oczepy.

W przypadku hali o niskiej ścianie większość rozpatrywanych wariantów wskazywała na posadowienie bezpośrednie jako bardziej ekonomiczne, bez względu na rodzaj gruntu. Natomiast dla hali o ścianie wysokiej korzystniejsze cenowo okazały się być fundamenty pośrednie. Na koszty realizacji posadowienia ma wpływ głównie wielkość i charakter obciążenia, a dokładniej mimośród działania wypadkowej obciążenia $e = M/N$ oraz jej odchylenie od pionu $\delta = \arctg(H/N)$. Wartości mimośródów wynikających z analizy reakcji podporowych schematów statycznych części nadziemnych hal, nie uwzględniających ciężarów fundamentów, wyniosły w przypadku hali o niskiej ścianie $e_I = 0,354$ m, a w przypadku hali o ścianie wysokiej $e_{II} = 1,91$ m.

Zadaszenie łukowe jest konstrukcją lekką, ale dającą spore wartości poziomych sił podporowych. Dlatego, gdy

wzrasta wysokość ściany, wartości momentów obracających na podporach rosną znacznie szybciej, niż obciążeń pionowych, co w konsekwencji daje wzrost mimośrodów działania wypadkowej obciążenia.

Przy niedużej wartości mimośrodów (niska ściana boczna) w zasadzie zawsze korzystniej jest posadawiać halę bezpośrednio. Różnica w cenie między fundamentami bezpośrednimi i palami zmienia się bardzo niewiele w piaskach, które generalnie charakteryzują się wysokimi wartościami kąta tarcia wewnętrznego. W tym przypadku odchylenie wypadkowej od pionu $\delta < \phi$.

Wraz ze spadkiem nośności podłoża cena posadowienia bezpośredniego zaczyna gwałtownie zbliżać się do ceny pali. Tendencja ta jest szczególnie widoczna w przypadku podłoża gliniastego. Mała wartość kąta tarcia wewnętrznego w gruntach spoistych w stanie plastycznym i miękkoplastycznym sprawia, że decydującą rolę w doborze wymiarów fundamentu zaczyna odgrywać nachylenie wypadkowej obciążenia. Aby utrzymać relację $\delta < \phi$ należy zwiększyć składową pionową obciążenia zwiększając ciężar fundamentu. Tym samym zwiększa się koszt posadowienia bezpośredniego. Obniżenie nośności podłoża powoduje również wzrost ceny pali, jednak nie jest on tak gwałtowny.

Gdy mimośród obciążenia ma dużą wartość, jak w przypadku hali o wysokiej ścianie, korzystniejsze jest posadowienie pośrednie. Bardzo dobrze wypada posadowienie na palach w piaskach, niezależnie od ich stanu. Jest ono niemal zawsze tańsze od stóp fundamentowych. Stopy fundamentowe muszą być na tyle duże, aby utrzymać wypadkową obciążenia w rdzeniu przekroju. Ten warunek czyni posadowienie bezpośrednio mniej atrakcyjnym finansowo.

W gruntach spoistych koszty wykonania fundamentów pośrednich i bezpośrednich przy dużym mimośrodku obciążenia są bardzo zbliżone. Można jednak zauważyć, że nawet w glinie twardoplastycznej posadowienie na palach może okazać się tańsze.

Koszty wykonania fundamentów mogą ulegać zmianie w zależności od przyjmowanych rozwiązań geometrycznych, konstrukcyjnych i materiałowych. Na to, które posadowienie będzie bardziej ekonomiczne, mogą mieć wpływ również warunki i ceny lokalne. Być może optymalnym rozwiązaniem mogłoby być połączenie posadowienia bezpośredniego z palami pełniącymi rolę kotew zapobiegających odrywaniu fundamentu. Uzyskanych wyników nie można uważać za ściśle wytyczne, a jedynie za wskazówkę, na jakie zależności należy zwrócić uwagę przy doborze sposobu posadowienia konstrukcji, gdy technicznie możliwe są różne sposoby, a ostatecznym kryterium jest cena.

Literatura

Biernatowski K., Dembicki E., Dzierżawski K., Wolski W. (1987). Fundamentowanie. Projektowanie i Wykonawstwo. *Arkady*, Warszawa.

- Cios I., Garwacka-Piórkowska S. (1999). Projektowanie Fundamentów. *OWPW*, Warszawa.
- Das B. M. (2007). Principles of Foundation Engineering. *Thomson Learning*, London.
- Glinicki S. P. (1984). Fundamentowanie. *Wydawnictwo Politechniki Białostockiej*, Białystok.
- Grabowski Z., Pisarczyk S., Obrycki M. (1993). Fundamentowanie. *Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej*, Warszawa.
- Gwizdała K. (2010). Fundamenty Palowe. Technologie i Obliczenia. *Wydawnictwo Naukowe PWN*, Warszawa.
- Kotlicki W. (2009). Projektowanie posadowień bezpośrednich w EC 7. W: *Materiały XXIV Ogólnopolskich Warsztatów Pracy Projektanta Konstrukcji*, Wisła 2009, 205-245.
- Kosecki M. (2006). Statyka Ustrojów Palowych. *PZITB*, Szczecin.
- Mendera Z., Szojda L., Wandzik G. (2012). Stalowe Konstrukcje Wsporcze. *Wydawnictwo Naukowe PWN*, Warszawa.
- Mosher R. L., Dawkins W. P. (2000). Theoretical Manual for Pile Foundations. ERDC/ITL TR-00-5, *U.S. Army Corps of Engineers*, Washington.
- Pieczyrak J. (1985). Projektowanie Posadowień Fundamentów Bezpośrednich. Kryterium Nośności Podłoża Gruntowego. *Gliwickie Biuro Projektów Budownictwa Przemysłowego*, Gliwice.
- Pieczyrak J. (2006). Nośność graniczna podłoża gruntowego według PN-81/B-03020 i Eurokodu 7. *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej*, Budownictwo, Z. 28, Tom 2, 197-212.
- Potts D. M., Zdravković L. (2001). Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering. *Thomas Telford*, London.
- Rybak Cz., Puła O., Sarniak W. (1997). Fundamentowanie. Projektowanie Posadowień. *DWE*, Wrocław.
- Sieczka H., Steckiewicz R. (1982). Projektowanie Fundamentów. *Wydawnictwo Politechniki Białostockiej*, Białystok.
- Starosolski W. (2012). Konstrukcje Żelbetowe według Eurokodu 2 i Norm Związanych. Tom 3. *Wydawnictwo Naukowe PWN*, Warszawa.
- Świeca M. (2009). Projektowanie pali wg Eurokodu 7 – przykłady obliczeń. W: *Materiały XXIV Ogólnopolskich Warsztatów Pracy Projektanta Konstrukcji*, Wisła 2009, t. 1, 271-290.
- Tomlinson M.J. (1994). Pile Design and Construction Practice. *E & FN Spon*, London.
- Wiłun Z. (1987). Zarys Geotechniki. *WKL*, Warszawa.

COSTS OF FOUNDATION CONSTRUCTION AS THE SELECTION CRITERION FOR THE CHOICE OF FOUNDATION TYPE

Abstract: In engineering practice there are cases in which, for technical reasons, it is possible to adopt alternative ways of foundation. Then, the final decision on the type of foundation is taken based on the cost of its implementation. The paper presents a bill of costs for shallow and deep foundations designed for a hall with vaulted roof. Roofing is based on the walls of various heights. Two wall heights are considered: 60 cm and 370 cm. It determines the magnitude and eccentricities of forces acting on the foundations as well as foundations' dimensions. The consequence is the changing costs of the foundations. As the result of the cost comparison the advantage of a deep foundation is exhibited even in the case of good ground conditions.