

KONSTRUKCJE budowlane 2 (Arch) : Geotechnika



Opracowano z wykorzystaniem materiałów:

- [1] Macdonald A.J., *Structure and Architecture*, Architectural Press, 2 nd , Oxford, 2001
- [2] G.G. Schierle, *Architectural Structures Excerpts*, University of Southern California Custom Publishing, 2003
- [3] Gwizdała K., *Fundamenty palowe. Technologia i obliczenia*, PWN, Warszawa 2011
- [4] Siemińska-Lewandowska A., *Głębokie wykopy. Projektowanie i wykonawstwo*, WKŁ, Warszawa 2010,11
- [5] strony internetowe [dostępne w dniu wykładu]

Leszek CHODOR , dr inż. bud, inż.arch.
leszek@chodor.co ; lch@chodor-projekt.net

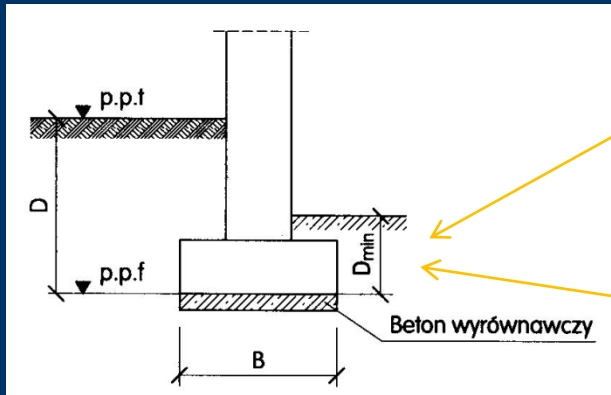
Normy do projektowania posadowień budowli:

- [1] PN-EN 1997-1 EC7 Projektowanie geotechniczne Część 1- Zasady ogólne (stron 153)
- [2] PN-EN 1997-2-2009 Rozpoznanie podłoża gruntowego (stron 165)
- [3] PN-EN ISO 14688-1 Badania geotechniczne. Oznaczanie gruntów (stron 17)
- [4] PN-EN ISO 14688-2 Klasyfikowanie gruntów. (stron 20)
- [4] PN-EN ISO 14689-1 **Oznaczanie i klasyfikowanie skał** (stron 24)
- [5] PN-EN ISO 13793 Projektowanie posadowień - wysadziny mrozowe (stron 47)
- [6] PN-EN 13250 Geotekstyli (stron 33)
- [7] PN-EN 1538 Ściany szczelinowe. (stron 51)
- [8] PN-EN 1537 Kotwy gruntowe. (stron 61)
- [9] PN-EN 1536 Pale wiercone. (stron 74)
- [10] PN-EN 14199 Mikropale .(stron 59)
- [11] PN-EN 12716 Iniekcja strumieniowa. (stron 36)
- [12] PN-EN 12715 Iniekcja. (stron 55)
- [13] PN-EN 12699 Pale przemieszczeniowe. (stron 50)
- [14] PN-EN 12063 Ścianki szczelne. (stron 79)

Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych z dnia 27 kwietnia 2012 (Dz.U. 27-04-2012, Poz 463)

oraz normy i przepisy związane (np. w sprawie dróg publicznych i autostrad)

Posadowienie {1} . Rodzaje fundamentów



Podział posadowienia w zależności od nośności gruntu pod podstawą:
* bezpośrednie (podstawa fundamentu na gruncie nośnym)
* pośrednie (podstawa na gruncie słabym, a pośrednie elementy sięgają do gruntu nośnego)

Podział posadowienia w zależności od głębokości:

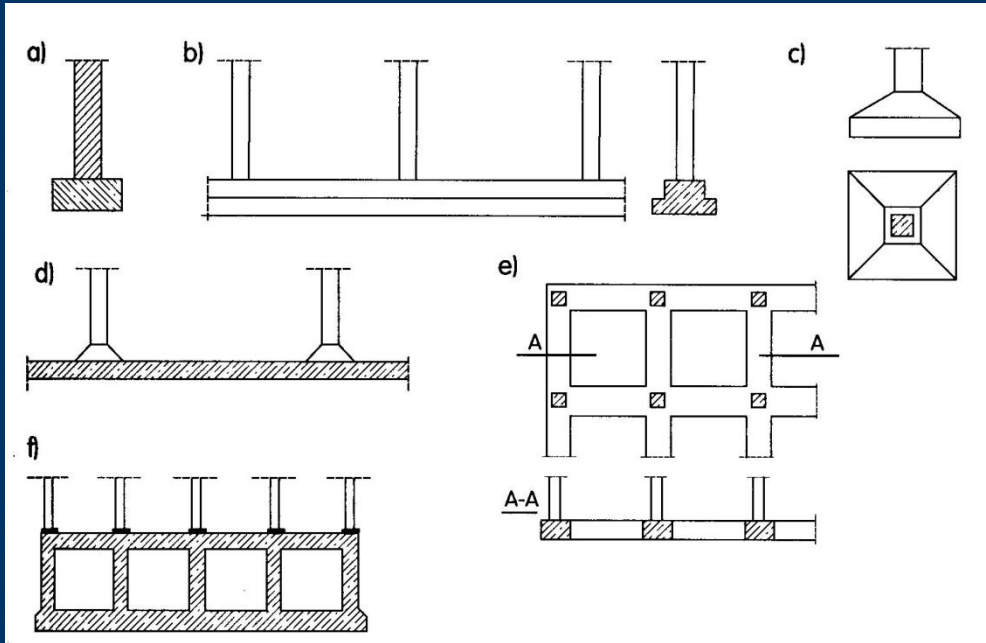
- * płytkie (do ok 2,5 – 3,5 m)
- * głębokie (głębiej najczęściej aż do warstwy nośnego gruntu)

$$D_{\min} = 0,5 \text{ m}$$

Uwagi:

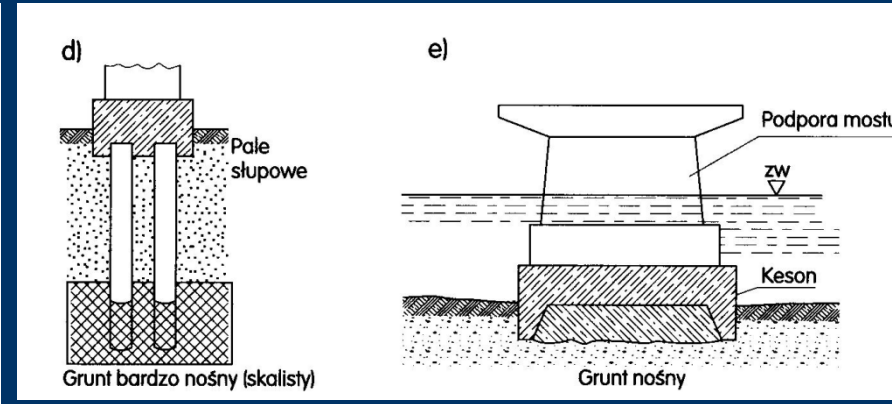
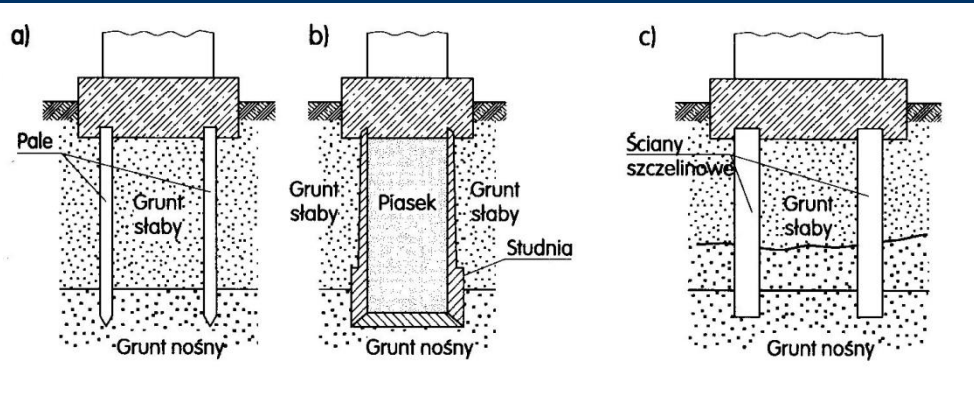
1. Posadowienie pośrednie i głębokie nie jest tożsame, choć najczęściej posadowienie pośrednie jest głębokie
2. Głębokość przemarzania współcześnie nie ma większego znaczenia, ponieważ :
 - a) większość gruntów nie jest wysadzinowa, a głębokość przemarzania implikuje tylko konieczność ocieplenia elementu, a fundament nie zostanie wysadzony. Grunty wysadzinowe, to grunty spoiste (gliny, ropy i pochodne)
 - b) jeśli posadawiamy w gruntach wysadzinowych, to do głębokości przemarzania łatwo wymienić grunt na niewysadzinowy (sypki)
3. Posadowienie pośrednie stosujemy, gdy w górnych obszarach podłoża zalegają grunty o małej nośności i dużej odkształcalności(np. : torfy, namuły, gytie, luźne nasypy, stare odpady komunalne, grunty pęczniejące, grunty zapadzinowe); pod podporami mostów, obiektami budownictwa hydrotechnicznego, morskiego; w celu ograniczenia osiadań; dla wzmocnienia skarp; garaże podziemne; obudowa głębokich wykopów lub zabezpieczenia nadbrzeży itd.

Posadowienie {2} . Fundamenty bezpośrednie i pośrednie

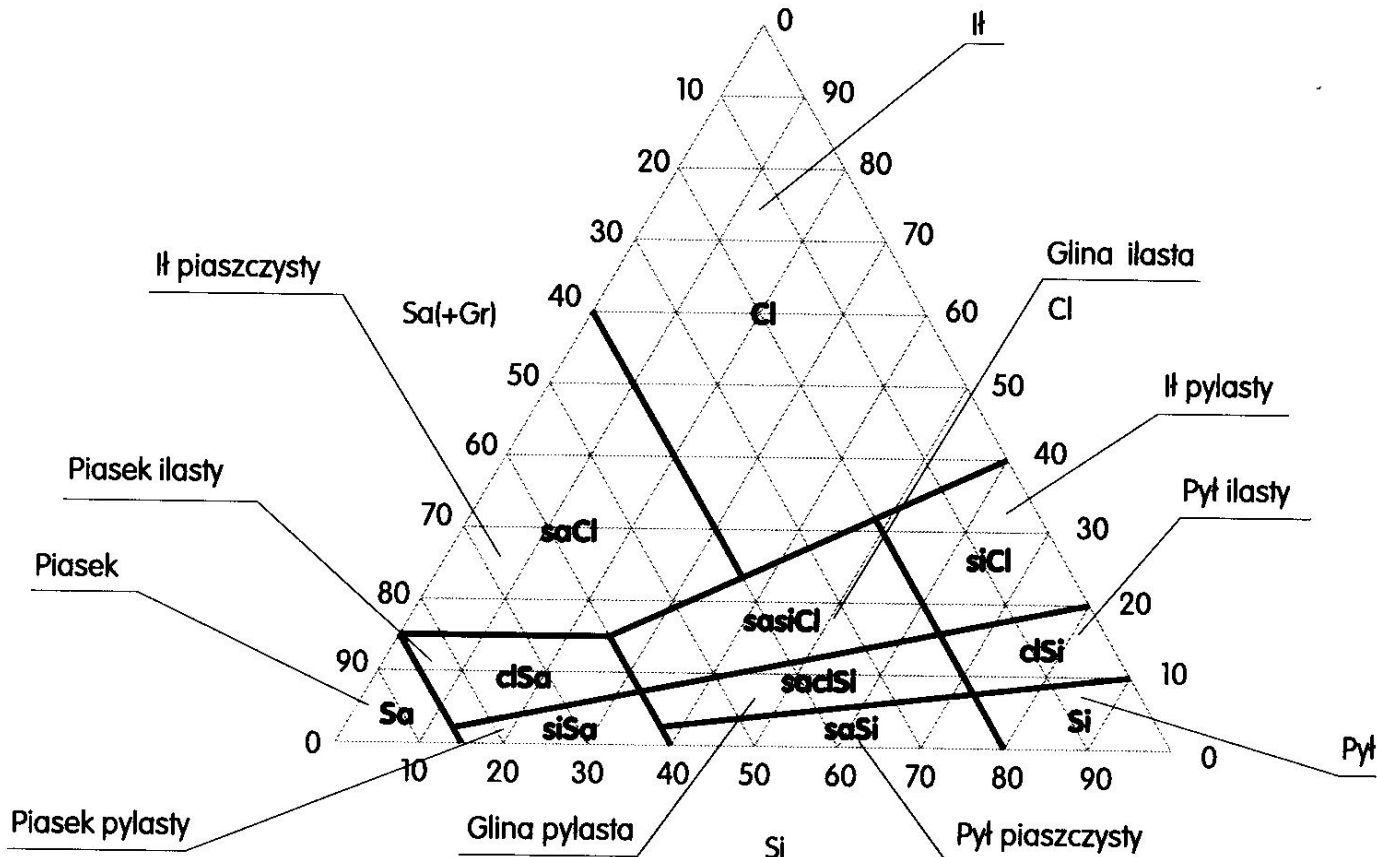


← Posadowienia bezpośrednie: a) ława fundamentowa, b) ława pod rzędem słupów, c) stopa fundamentowa, d) płyta fundamentowa, e) ruszt, f) skrzynia fundamentowa

Posadowienia pośrednie: a) pale, b) studnia, c) ściana szczelinowa d) słupy palowe, e) keson →



Grunty {1} . Klasyfikacja gruntów budowlanych



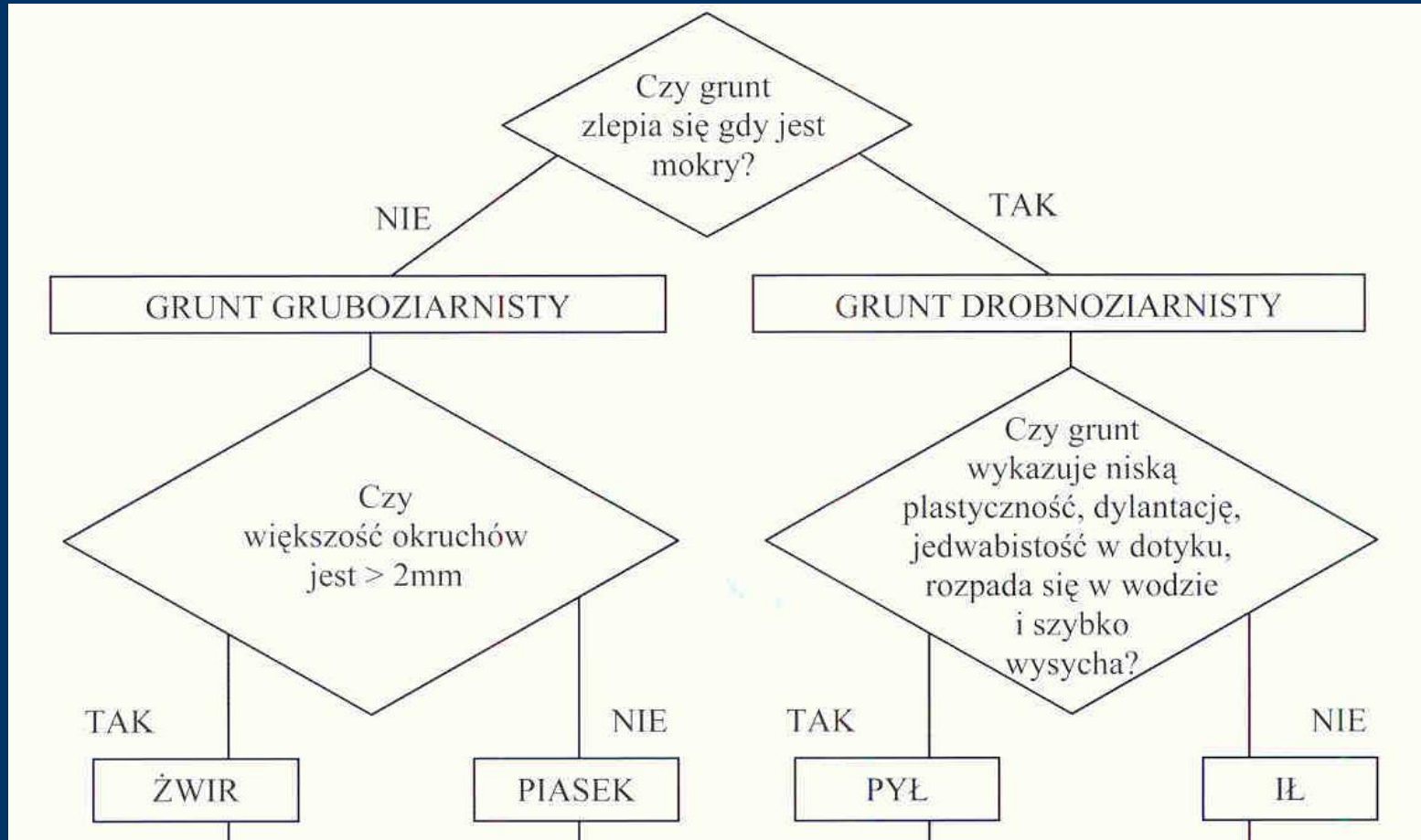
← Trójkąt ISO „krajowy” do rozpoznawania rodzaju gruntu wg zawartości frakcji.

Podstawowa klasyfikacja wg Eurokodu:

PN-EN ISO 14668

Na bokach trójkąta zaznaczono skalę zawartości frakcji: piaskowej Sa, frakcji pyłowej (Si) i frakcji ılowej (Cl).

Grunty {1a} . Klasyfikacja gruntów budowlanych cd



← Uproszczony sposób rozpoznania rodzaju gruntu

Grunty {1b} . Klasyfikacja gruntów budowlanych cd

Rozróżnia się grunty podstawowe i grunty złożone

Grunty podstawowe (wg PN-EN ISO 14688-2:2006)

Grupy gruntów	Frakcje	Symbole	Wymiary cząstek mm
Gruboziarniste	Żwir	Gr	$> 2,0 \div 63$
	żwir gruby	CGr	$> 20 \div 63$
	żwir średni	MGr	$> 6,3 \div 20$
	żwir drobny	FGr	$> 2,0 \div 6,3$
Drobnoziarniste	Piasek	Sa	$> 0,063 \div 2,0$
	piasek gruby	CSa	$> 0,63 \div 2,0$
	piasek średni	MSa	$> 0,2 \div 0,63$
	piasek drobny	FSa	$> 0,063 \div 0,2$
Drobnoziarniste	Pył	Si	$> 0,002 \div 0,063$
	pył gruby	CSi	$> 0,02 \div 0,063$
	pył średni	MSi	$> 0,0063 \div 0,02$
	pył drobny	FSi	$> 0,002 \div 0,0063$
	Ił	CI	$\leq 0,002$

Grunty {1c} . Klasyfikacja gruntów budowlanych cd

Rodzaj gruntu		Symbol	Zawartość frakcji [%]			
			Cl	Si	Sa	Gr
Żwir		Gr	do 3	0÷15	0÷20	80÷10
Żwir piaszczysty		saGr	do 3	0÷15	20÷50	50÷80
Piasek ze żwirem (pospółka)		grSa	do 3	0÷15	50÷80	20÷50
Piasek drobny		F	do 3	0÷15	85÷100	0÷20
Piasek średni		MSa				
Piasek gruby		C				
Żwir pylasty		siGr	do 3	15÷40	0÷20	40÷85
Żwir ilasty (pospółka ilasta)		clGr				
Żwir pylasto-piaszczysty		sasiGr	do 3	15÷40	20÷45	40÷65
Żwir piaszczysto-pylasty (pospółka ilasta)		sisGr				
Piasek pylasty ze żwirem		grsiSa grclSa	do 3	15÷40	40÷65	20÷40
Piasek zapyłony (zailony)		siSa clSa	do 3	15÷40	40÷85	0÷20
Żwir ilasty		grSi	0÷8	40÷80	0÷20	20÷60
Pył ze żwirem		grclSi siGr				
Gлина	głina pylasta	sacSi				
	głina ilasta	sasiCl				
Pył		Si	0÷10	72÷100	0÷20	
Pył ilasty		clSi	8÷20	65÷90	0÷20	
II		Cl	25÷60	0÷60	0÷40	
II pylasty		siCl	20÷40	48÷80	0÷20	

Zagęszczenie (sympkie)	Stopień zagęszczenia I_D
Bardzo luźne	0 do 0,15
Luźne	0,15 do 0,35
Średnio zagęszczone	0,35 do 0,65
Zagęszczone	0,65 do 0,85
Bardzo zagęszczone	0,85 do 1,00

Konsystencja (spoiste)	Stopień plastyczności I_L
Płynna	0,75
Miękkoplastyczna	0,75 do 0,50
Plastyczna	0,50 do 0,25
Twardoplastyczna	0,25 do 0
Zwarta i bardzo zwarta	ujemna

Rodzaj warunków gruntowych	Opis
Proste	W przypadku gruntów jednorodnych, równoległych do powierzchni terenu, bez gruntów słabonośnych, przy zwierciadle wód gruntowych w poniżej poziomu projektowanego posadowienia. Brak występowania niekorzystnych zjawisk geologicznych
Złożone	W przypadku gruntów niejednorodnych, nieciągłych i zmiennych, zawierających grunty słabonośne, przy zwierciadle wód gruntowych w poziomie projektowanego posadowienia i powyżej tego poziomu. Brak występowania niekorzystnych zjawisk geologicznych
Skomplikowane	W przypadku warstw gruntów objętych występowaniem niekorzystnych zjawisk geologicznych, zwłaszcza osuwiskowych, krasowych (rozpuszczanie przez wodę wapieni lub gipsów), kurzawkowych (ruch nawodnionych luźnych piasków drobnych i pyłów) itp., na obszarach szkód górniczych, w centralnych obszarach delt rzek

Zakres czynności niezbędnych do ustalenia geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych jest uzależniony od zaliczenia danego obiektu do kategorii geotechnicznej, którą ustala się odpowiednio do rodzaju warunków gruntowych oraz czynników konstrukcyjnych, wartości użytkowej, technicznej lub zabytkowej, zabytkowej, zagrożenia środowiska itp. Kategorię geotechniczną całego obiektu lub jego poszczególnych części określa Projektant obiektu, ewentualnie w uzgodnieniu z geotechnikiem.

Grunty {3a} Rodzaje warunków gruntowych i kategorie geotechniczne

Kategorie geotechniczne	Opis
Pierwsza kategoria geotechniczna	dotyczy niewielkich obiektów budowlanych o statycznie wyznaczalnych schematach obliczeniowych, w prostych warunkach gruntowych, dla których wystarcza przybliżone, jakościowe określenie właściwości gruntów. Do tej kategorii można zaliczyć np.: jedno- lub dwukondygnacyjne budynki mieszkalne i gospodarcze; b) ściany oporowe i rozparcia wykopów, jeżeli różnica poziomów nie przekracza 2 m; c) wykop do głębokości 1,2 m i nasypy do wysokości 3 m, wykonywane zwłaszcza przy budowie dróg, pracach drenażowych i układaniu rurociągów
Druga kategoria geotechniczna	dotyczy obiektów budowlanych w prostych i złożonych warunkach gruntowych, wymagających ilościowej oceny danych geotechnicznych (określenia wartości parametrów geotechnicznych i innych danych niezbędnych do sporządzenia projektu posadowienia). Do drugiej kategorii można zaliczyć: 1) fundamenty bezpośrednie lub głębokie; b) ściany oporowe i inne konstrukcje oporowe; c) wykopy i nasypy; d) przyczółki i filary mostowe; e) kotwy gruntowe i inne systemy kotwiące
Trzecia kategoria geotechniczna	Zawiera: a) nietypowe obiekty budowlane niezależnie od stopnia skomplikowania warunków gruntowych, których wykonanie lub użytkowanie może stwarzać poważne zagrożenie dla użytkowników i środowiska (takie jak: obiekty energetyki jądrowej, rafinerie, zakłady chemiczne, zapory wodne) lub których projekty budowlane zawierają nowe, niesprawdzone w krajowej praktyce rozwiązania techniczne, nie znajdujące podstaw w przepisach i polskich normach, b) obiekty budowlane posadowione w skomplikowanych warunkach gruntowych, c) obiekty monumentalne i zabytkowe

Geotechniczne warunki posadowienia obiektów budowlanych opracowuje się na ogół w formie dokumentacji lub opinii geotechnicznej. W odniesieniu do obiektów zaliczonych do trzeciej kategorii geotechnicznej oraz obiektów drugiej kategorii, ale w złożonych warunkach gruntowych, oprócz dokumentacji geotechnicznej należy wykonać dokumentację geologiczno-inżynierską według odrębnych przepisów. Uwaga: 1) Urząd przy udzielaniu pozwolenia na budowę sprawdza rodzaj dokumentacji „gruntowej”, 2) w przypadku potrzeby dokumentacji geologicznej należy doliczyć czas (ok 3 m-ce) !

1. Zagęszczanie mechaniczne :

1) bez dodatkowych materiałów

W przypadku gruntów sypkich (piaski, pospółki) zagęszczenie uzyskuje się poprzez ubijanie lub wibrowanie.

Konsolidacje gruntów spoistych (gliny, ropy, namuły) uzyskuje się poprzez wstępne obciążenie nasypem, samodzielne lub ze znacznie przyspieszającym konsolidację wykorzystaniem drenów pionowych. Innym rozwiązaniem jest zastosowanie metody próżniowej Menada.

2) z dodatkowymi materiałami : osuszanie cementem lub wapnem

Sprzęt i metody zagęszczania mechanicznego:

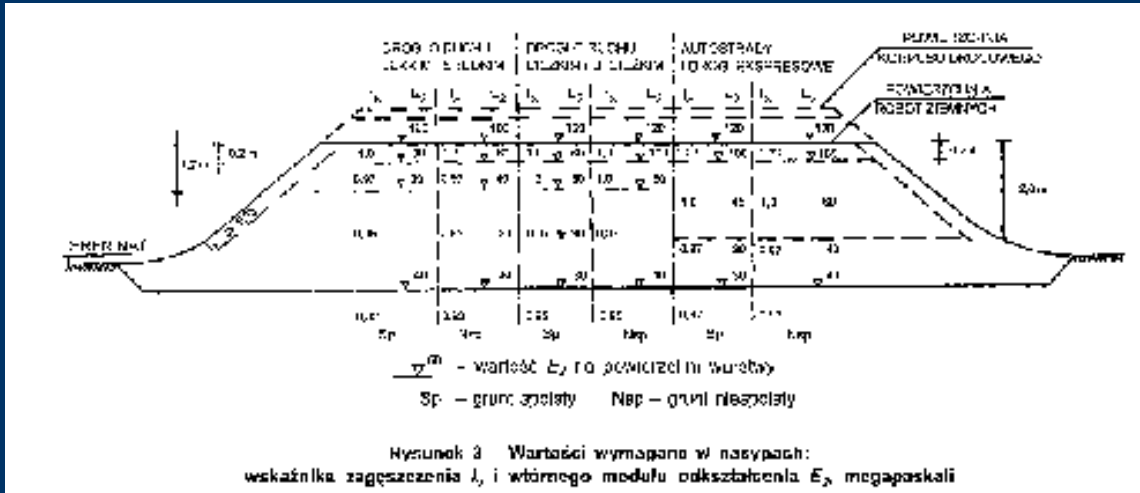
- * ubijaki ręczne
- * Walce wibracyjne
- * konsolidacja dynamiczna
- * wibratory powierzchniowe i wgłębne
- * wibroflotacja
- * wybuchy powierzchniowe i ukryte w otworach wiertniczych

Warunki podstawowe możliwości zagęszczenia mechanicznego gruntu:

1. **Wilgotność optymalna $\pm 2\%$** - wartość własna dla konkretnego gruntu, można określić laboratoryjnie. Grunt należy osuszyć do wilgotności optymalnej (np. poprzez obracanie lub suszenie wapnem lub cementem), albo też dodać wody (np. piasek)
2. **Ciągła krzywa uziarnienia:** grunt musi zawierać wszystkie frakcje. W przypadku braku frakcji grunt należy doziarnić, np. dodać piasku lub innego kruszywa

Wzmacnianie podłoża gruntowego {1a} . Wymagania zagęszczania

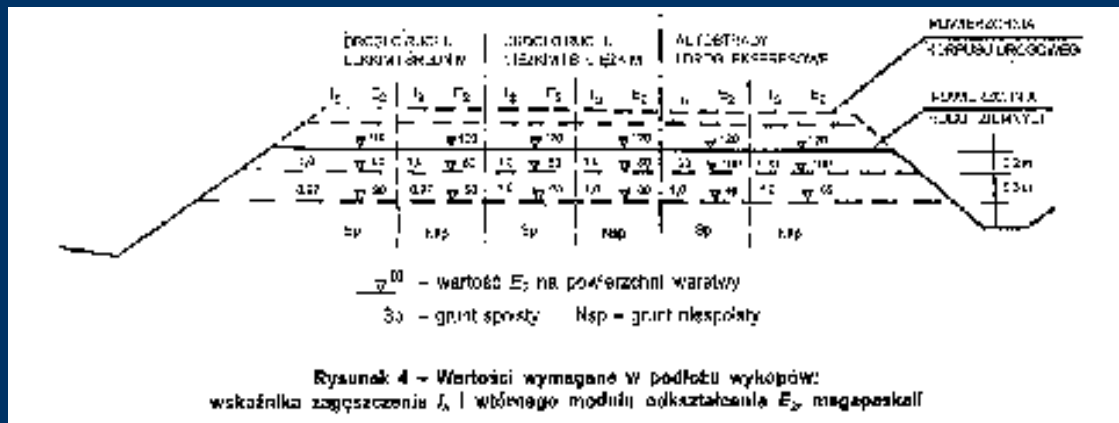
Wymagania zagęszczenia nasypów (wg PN-S-02205 Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania)



Ruch lekki i średni (pod posadzkami i fundamentami)

- podłoże rodzime:
 $I_s=0,62$; $E_2= 40$ MPa
- 0,2 m pod naziemem
 $I_s=1,00$ $E_2= 60$ MPa
- Pod naziemem
 $E_2= 100$ MPa

Wymagania zagęszczenia wykopów



Ruch lekki i średni

- podłoże rodzime:
 $I_s=0,97$; $E_2= 60$ MPa
- 0,2 m pod naziemem
 $I_s=1,00$ $E_2= 80$ MPa
- Pod naziemem
 $E_2= 100$ MPa

Kryterium zagęszczenia gruntów (wg PN-S-02205 Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania)

$l_0 = E_2/E_1$ nie powinien być większy niż:

- dla żwirów i pospółek i piasków:
2,2 przy wymaganym $l_s > 1$
2,5 przy wymaganym $l_s < 1$
- dla gruntów drobnoziarnistych o równomiernym uziarnieniu (gliny, gliny pylaste, gliny zwięzłe, ility)
2,0
- Dla gruntów różnoziarnistych żwiry gliniaste, pospółki, (pyły piaszczyste
3,0

Odchylenia od wilgotności optymalne

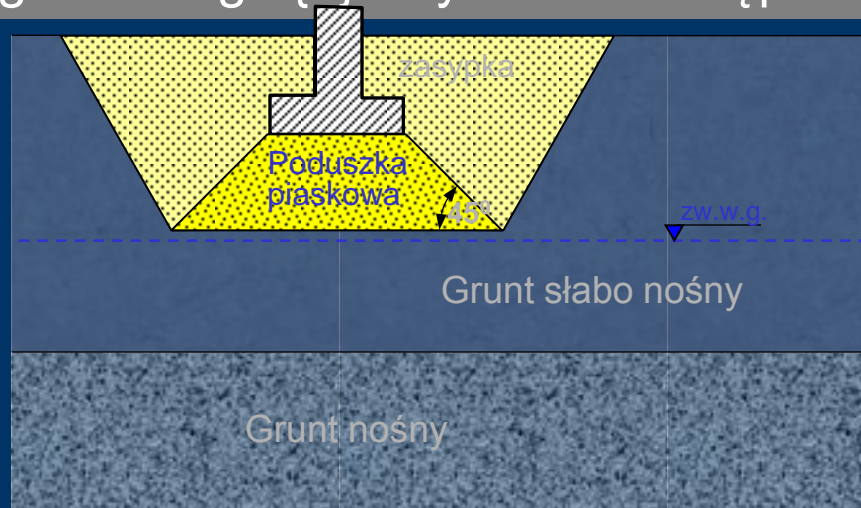
Grunty niespoiste +- 2%

Grunty mało i średnio spoiste +0% do -2%

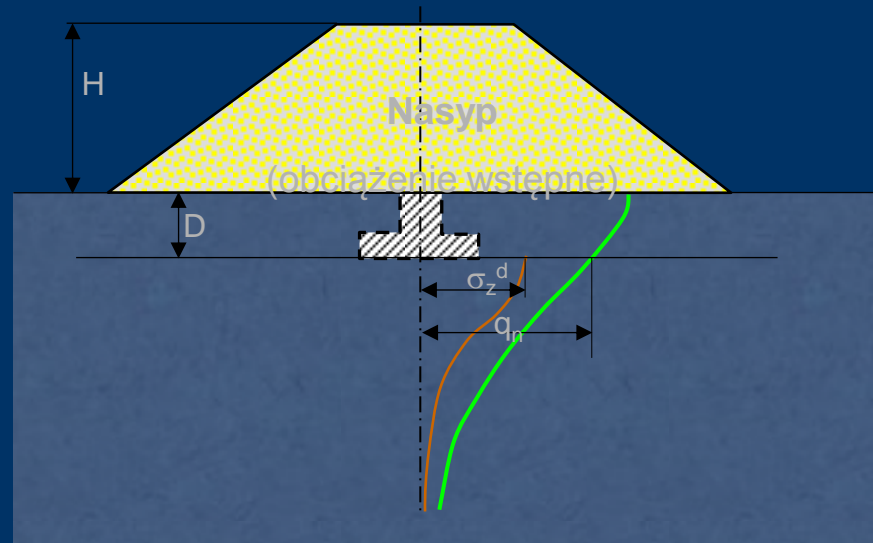
Mieszanki popioło-żużlowe +2 do -4%

Wzmacnianie podłoża gruntowego {2}. Wymiana i wstępne obciążenia

2. Wymiana gruntu :
Stosuje się wówczas,
gdy grubość warstwy
gruntów rozluźnionych
nie przekracza 2 m i
należy określić ze
względów
ekonomicznych.

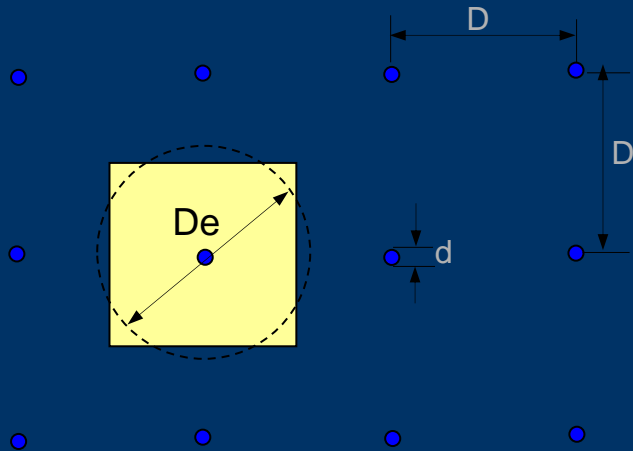


3. Wstępne obciążenie
gruntu nasypem:



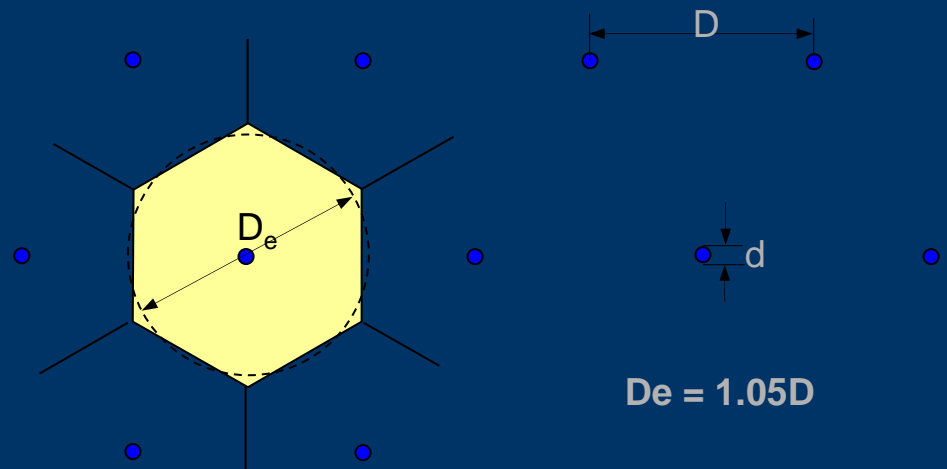
4. Dreny pionowe

Siatka kwadratowa



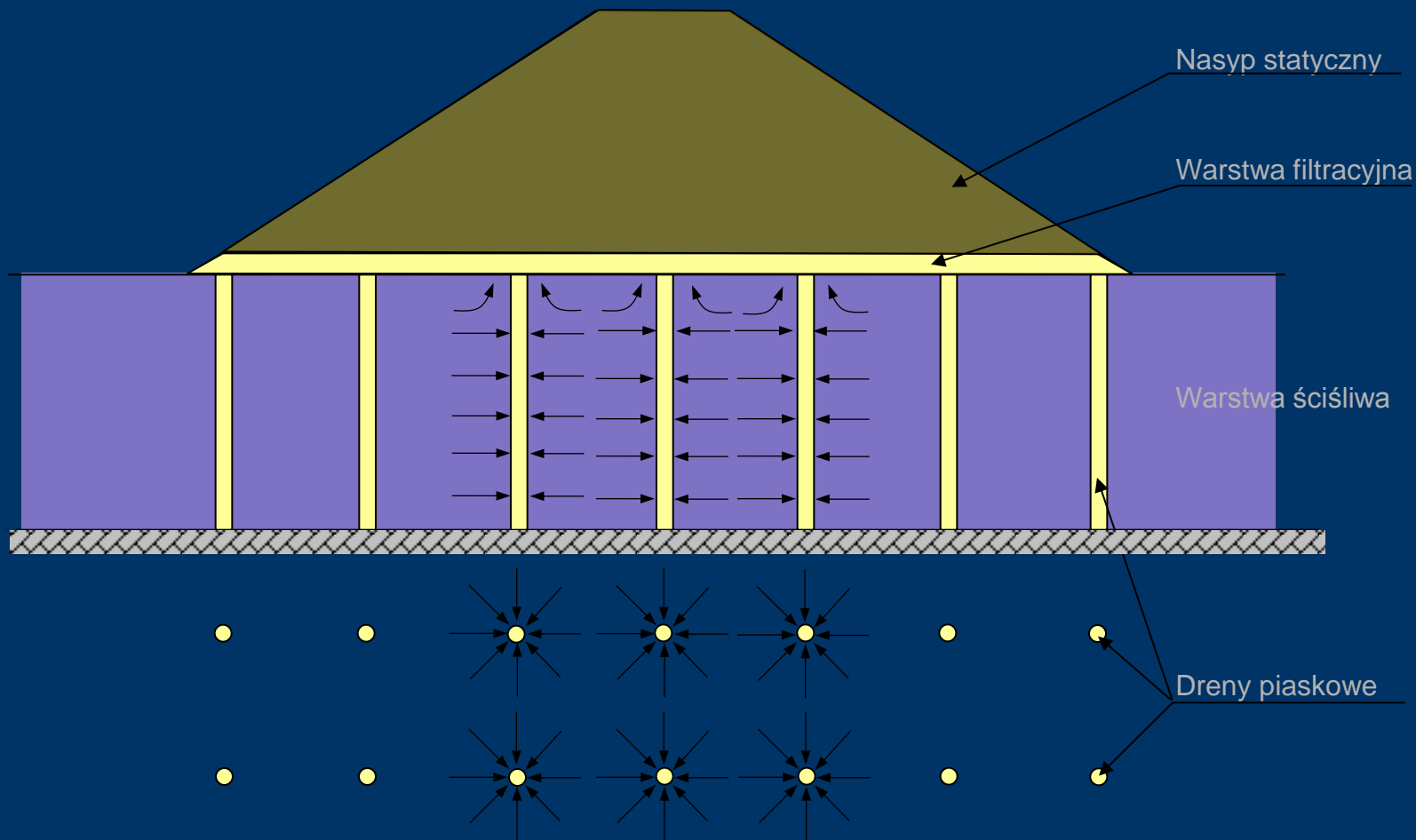
$$D_e = 1.128D$$

Siatka trójkątna (równoboczna)

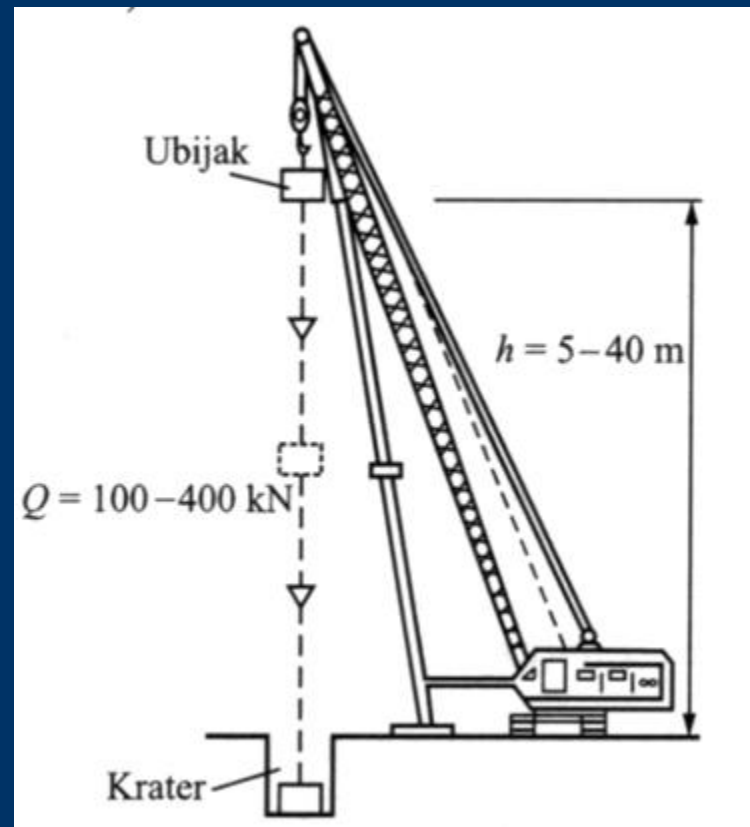
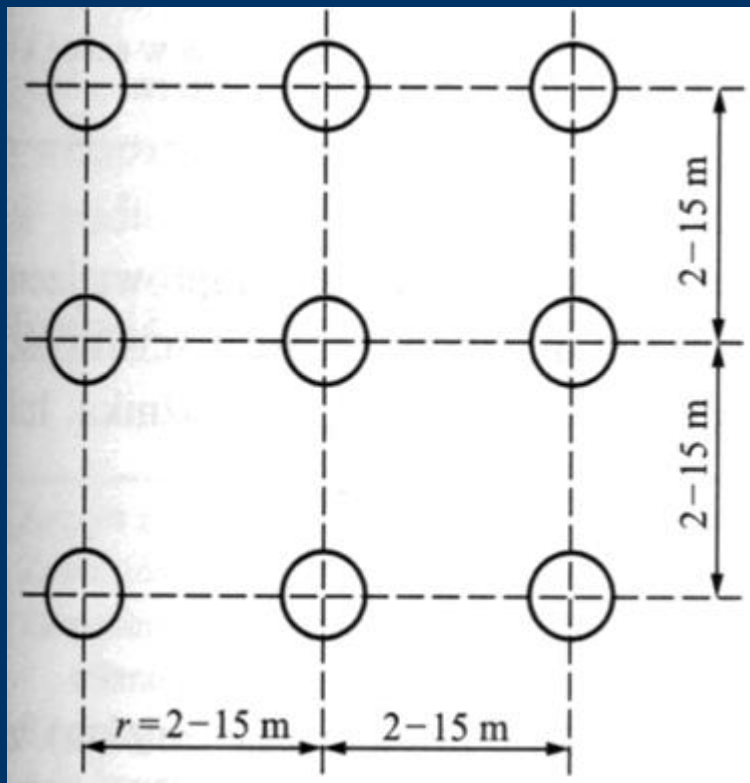


$$D_e = 1.05D$$

5. Konsolidacja trójosiowa gruntu nasypem



6. Konsolidacja dynamiczna



a) siatka kraterów , b) mechanizm zagęszczania

7. Iniekcja

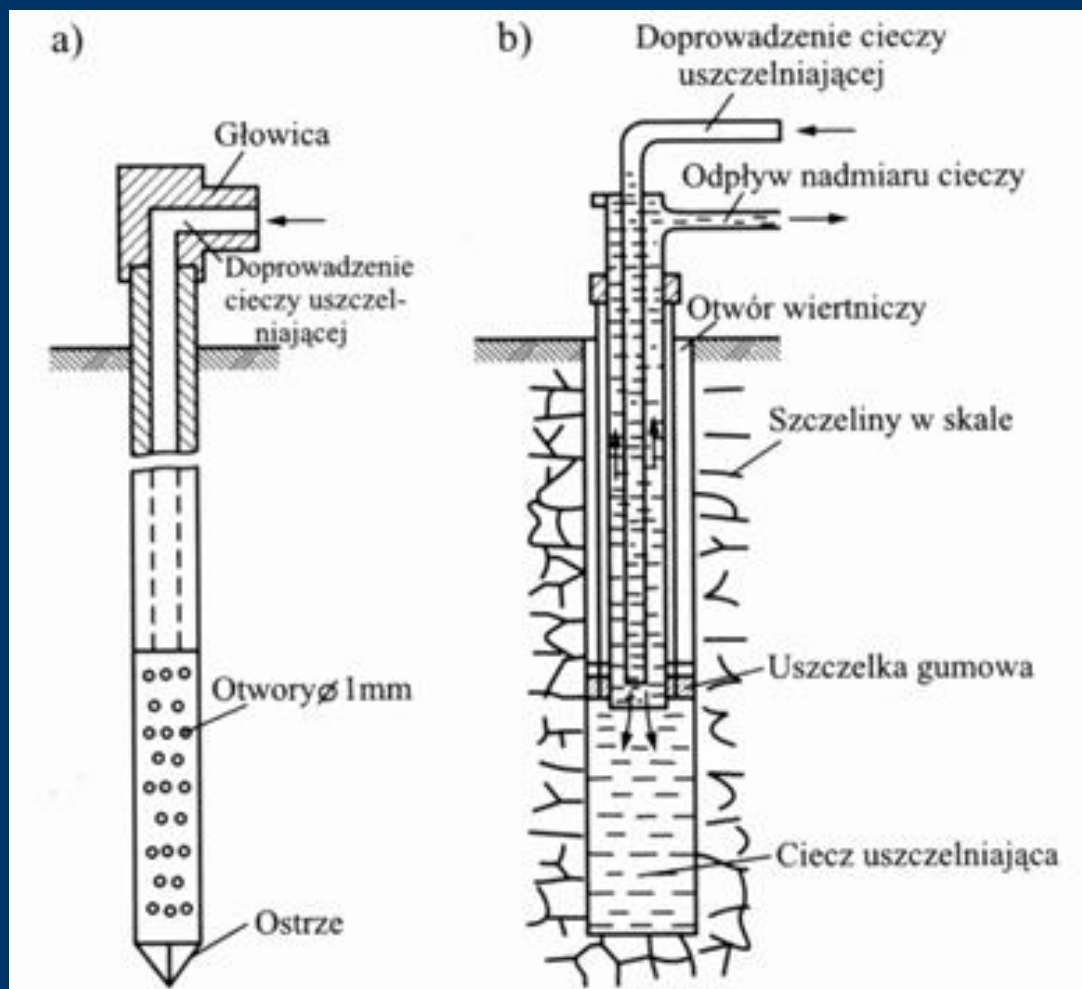
Metoda ta polega na podwyższeniu nośności gruntu pod fundamentami za pomocą specjalnych zastrzyków dogruntowych (mają doprowadzić do zera osiadanie budynku). Istnieją różnorodne techniki iniekcyjne umożliwiające wzmacnianie wszelkich rodzajów gruntów, za pomocą wstrzykiwanej pod ciśnieniem mieszanki. Skład i konsystencja danej mieszanki zależy od rodzaju podłoża i jego przepuszczalności. Najczęściej są to zawiesiny cementowe lub roztwory chemiczne, które włacza się za pomocą specjalnych pomp do próżni w gruncie budowlanym.

W przypadku, gdy podczas wstrzykiwania materiału na jego działanie narażone są elementy zbrojenia lub kanalizacji, to należy zanotować jaki jest ich stan przed wykonywaniem iniekcji. Takie elementy są bowiem narażone na niszczenie o czym powinien nas poinformować kierownik firmy zajmującej się budową. Powinien on również oszacować wielkość „strefy zagrożenia”, która jest narażona na największe szkody.

Materiały do iniekcji

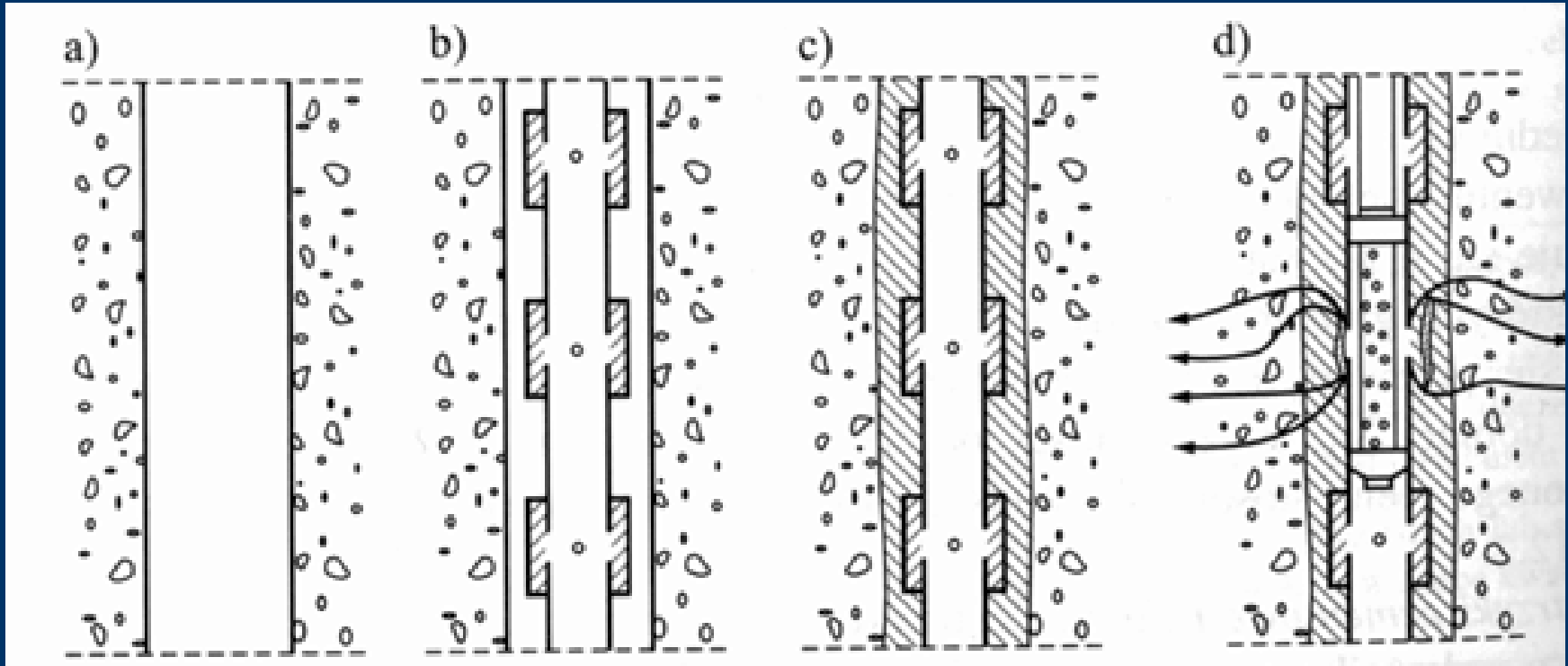
Materiał iniekcyjny	log wsp filtracji
zaczyn cementowy (C/W = 0,05 – 0,5)	-1 do -2
zawiesina iłowo-cementowa	-1 do -4
zawiesina cementowo- iłowo-krzemianowa	-2 do -5
bituminy	-1 do -5
żele krzemianowe	-3 do -7
żywice syntetyczne	-5 do -8

Urządzenia do wykonywania zastrzyków iniekcyjnych:



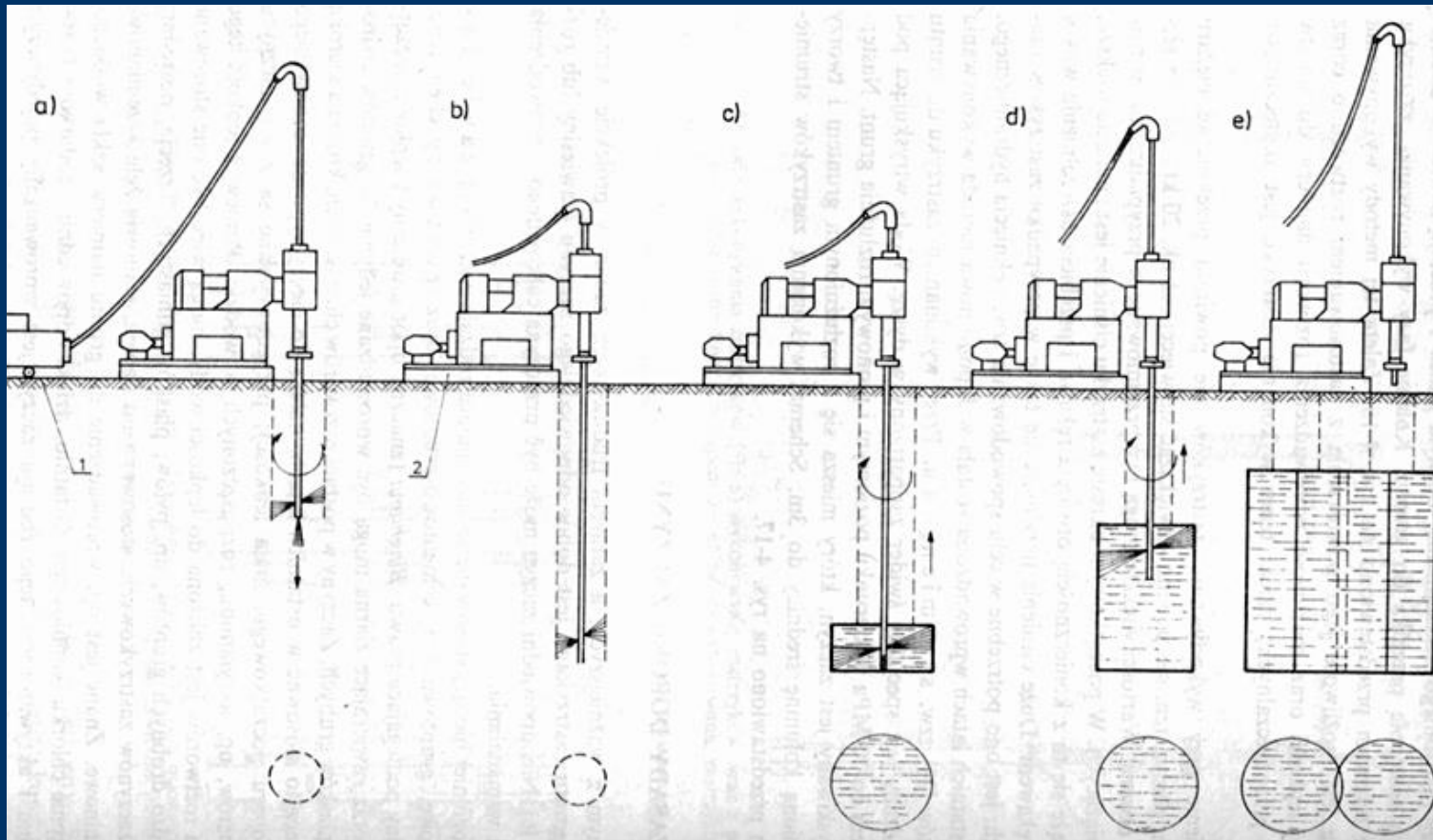
a) Iniektor , b) otwór wiertniczy w skałach

Zasada wykonywania zastrzyka z rury z rękawem:



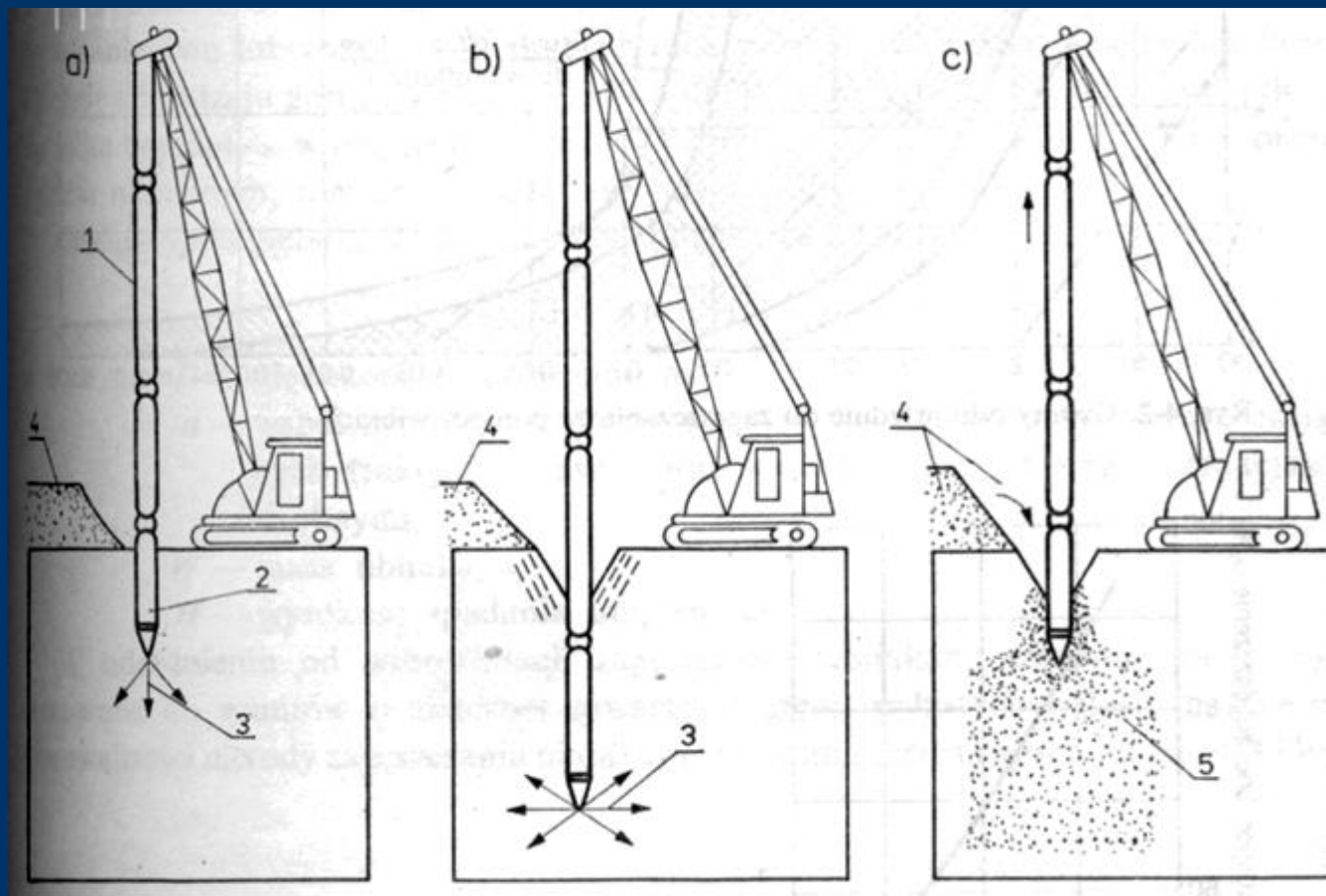
- a) otwór z rurą osłonową ,
- b) po wprowadzeniu rury z „rękawem”,
- c) usunięta rura osłonowa, wprowadzona zawiesina iłowo-cementowa,
- d) zastrzyk za pomocą podwójnego uszczelnienia

8. Iniekcja strumieniowa „jet grouting”



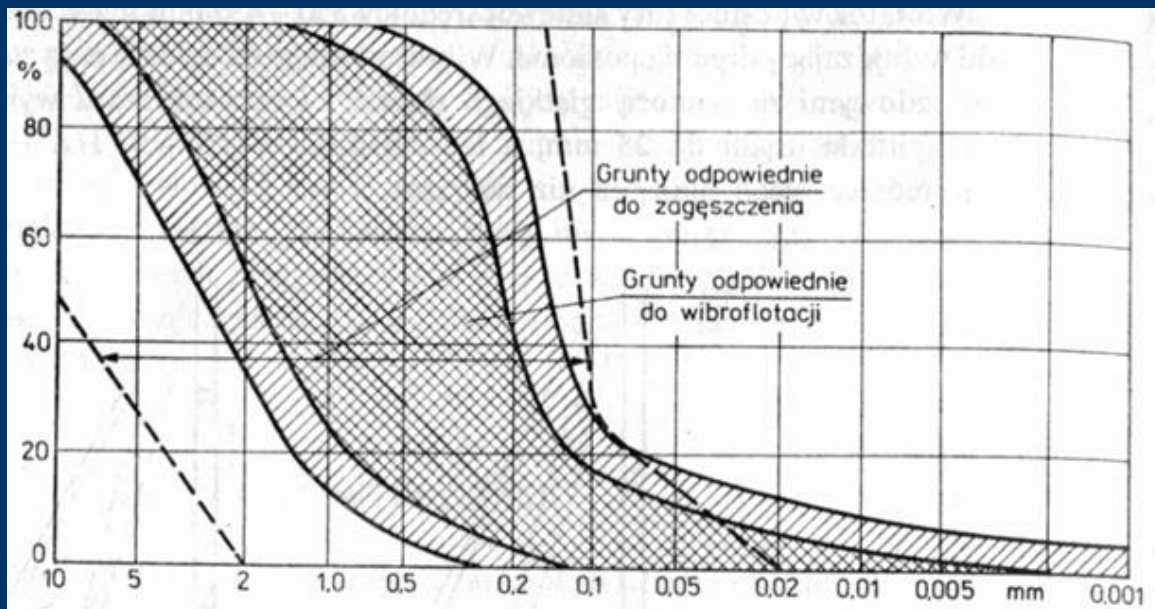
a) Początek wiercenia , b) zakończenie wiercenia, c) początek wykonywania zastrzyku strumieniowego, d) obracanie i wyciąganie żerdzi zastrzykowej, e) zakończenie iniekcji strumieniowej

9. Wibroflotacja

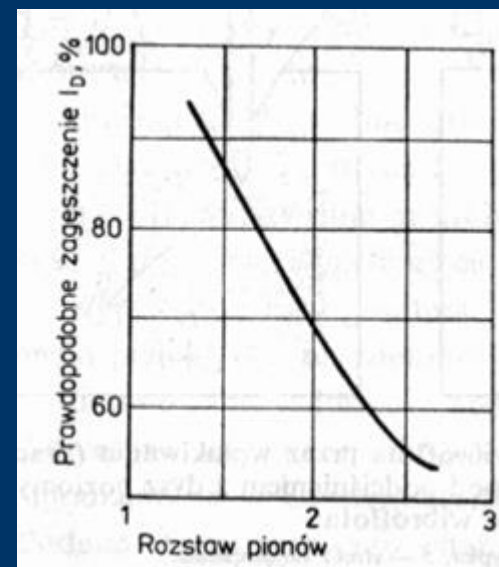


- 1- rury obsadowe
- 2- wibrator
- 3- woda pod ciśnieniem
- 4- zasypka
- 5- stefa zagęszczona

a) pogrążanie wibroflota przez wypłukiwanie (pracuje dysza pionowa), b) zagęszczanie (wibracja, wylot wody pod ciśnieniem z dysz poziomych, uzupełnianie gruntu w podłożu zasypką, c) kończenie procesu

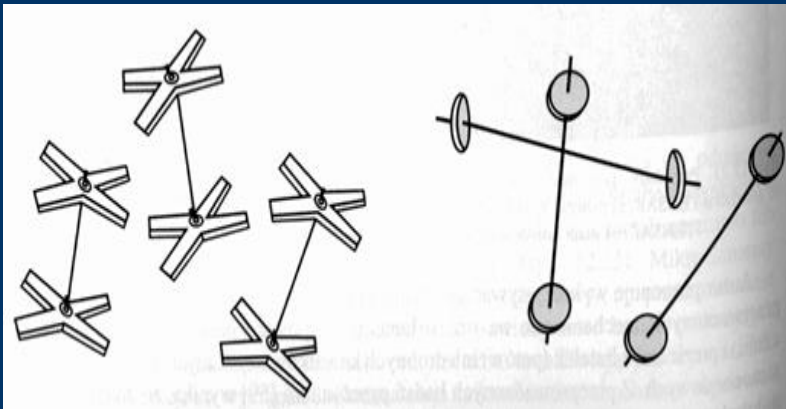


Grunty odpowiednie do wykonywania wibroflotacji

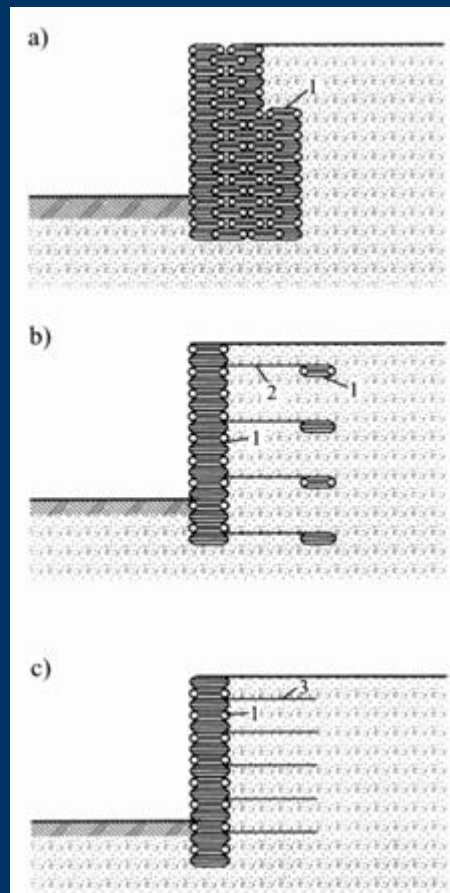


Zależność zagęszczenia od rozstawu w [m] pionów wibroflotacji w piaskach

11. Zbrojenie gruntu wkładkami

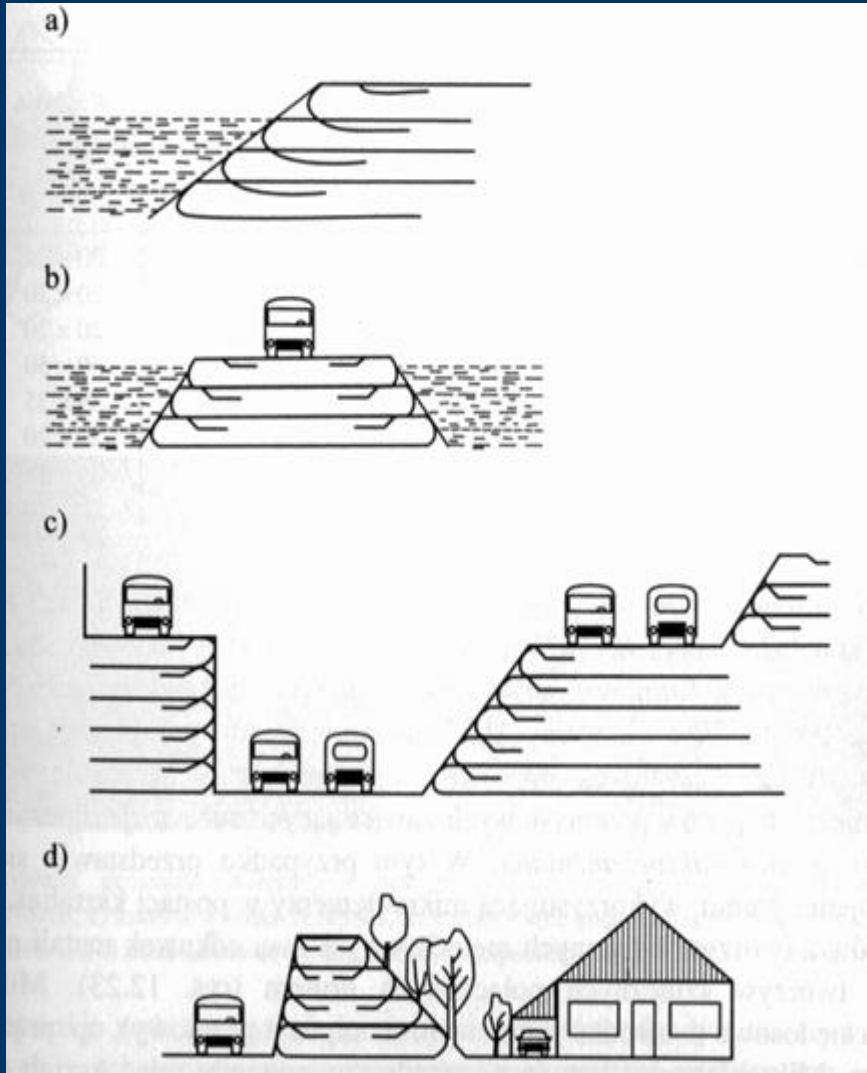


Zbrojenie mikroelementami



- 1- opona
- 2- ścięgno
- 3- zbrojenie z płaskownika

Zbrojenie skarpy oponami:
a) kaszyca, b) ściana zakotwiona oponami
c) konstrukcja z gruntu zbrojonego



Przykłady zbrojenia geowłókninami

- a) Oslona brzegu przed falowaniem,
- b) osłona skarp i wzmocnienie grobli, pozwalające stosować większe nachylenie
- c) konstrukcje oporowe, wzmacniające zbocza nasypów
- d) osłony dźwiękochłonne

Głębokie wykopy {1} Rodzaje obudów



Głębokie wykopy w centrum Kopenhagi

Rodzaje obudowy głębokich wykopów:

- 1) ściana szczelinowa,
- 2) budowa berlińska,
- 3) ścianka z grodzic stalowych\ (ścianka szczelna)
- 4) palisada z pali (np. CFA) lub mikropali,
- 5) ściana z kolumn wykonanych metodą iniekcji
- 6) ściany gwoździowane
- 7) technologie mieszane

Głębokie wykopy to nieodłączny element we współczesnym budownictwie. Stosowany nie tylko w budownictwie komunikacyjnym i podziemnym, ale także w powszechnym, np. praktycznie wszystkie budynki mieszkalne i inne w Warszawie wykonywane są z wykorzystaniem technologii ścian szczelinowych.

Wykonanie głębokiego wykopu wpływa na obiekty sąsiednie, w tym zabytkowe dlatego tak ważne jest dla architekta.

Uwarunkowania prawne:

- 1) Ustawa *Prawo budowlane*,
- 2) Rozporządzenie MSW iA w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych (DZU nr 126/1998, poz. 830: I, II i III kategoria geotechniczna.

Głębokie wykopy są zaliczane do II kat lub w trudnych warunkach gruntowych do III kat. najczęściej więc potrzeba opracowania dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, a nie tylko zwykłej dokumentacji geotechnicznej → *Prawo geologiczne i górnicze* (Dz.U. z 2005 nr 228, poz. 1947), Rozp. Min Środ. z dnia 19 grudnia 2001 w sprawie *projektów geologicznych*.

Warunki wykonania wykopów, np. wg wytycznych ITB 427/2007 *Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlanych, część A Roboty ziemne i konstrukcyjne*.

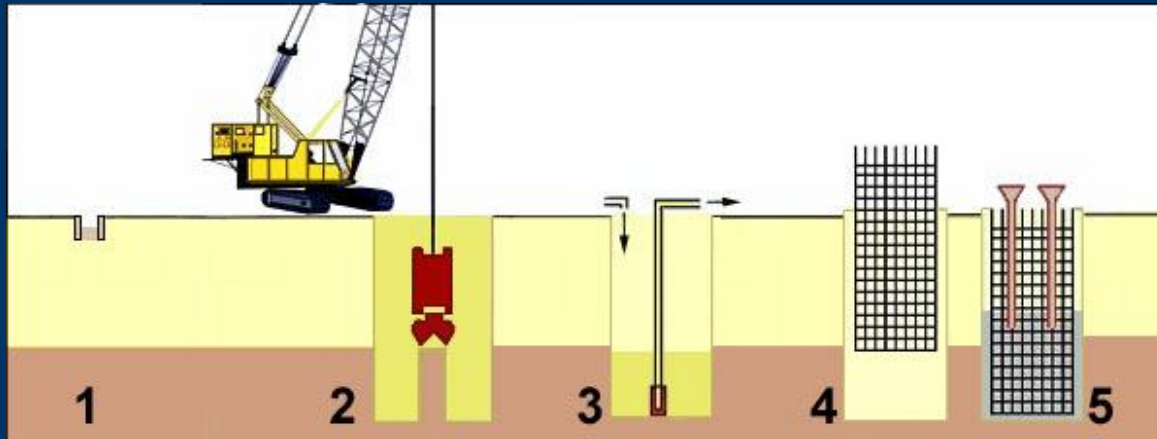
Ze względu na częste awarie lub katastrofy budowlane podczas wykonywania głębokich wykopów oraz ich odwodnienia, z różnymi skutkami materialnymi oraz społecznymi → przeprowadzić szczegółową analizę ryzyka i groźących niebezpieczeństw, a także należy opracować wielobranżowe projekty wykonania prac, w których najważniejsze są analizy architektoniczno-hyrotechniczne oraz konstrukcyjne.

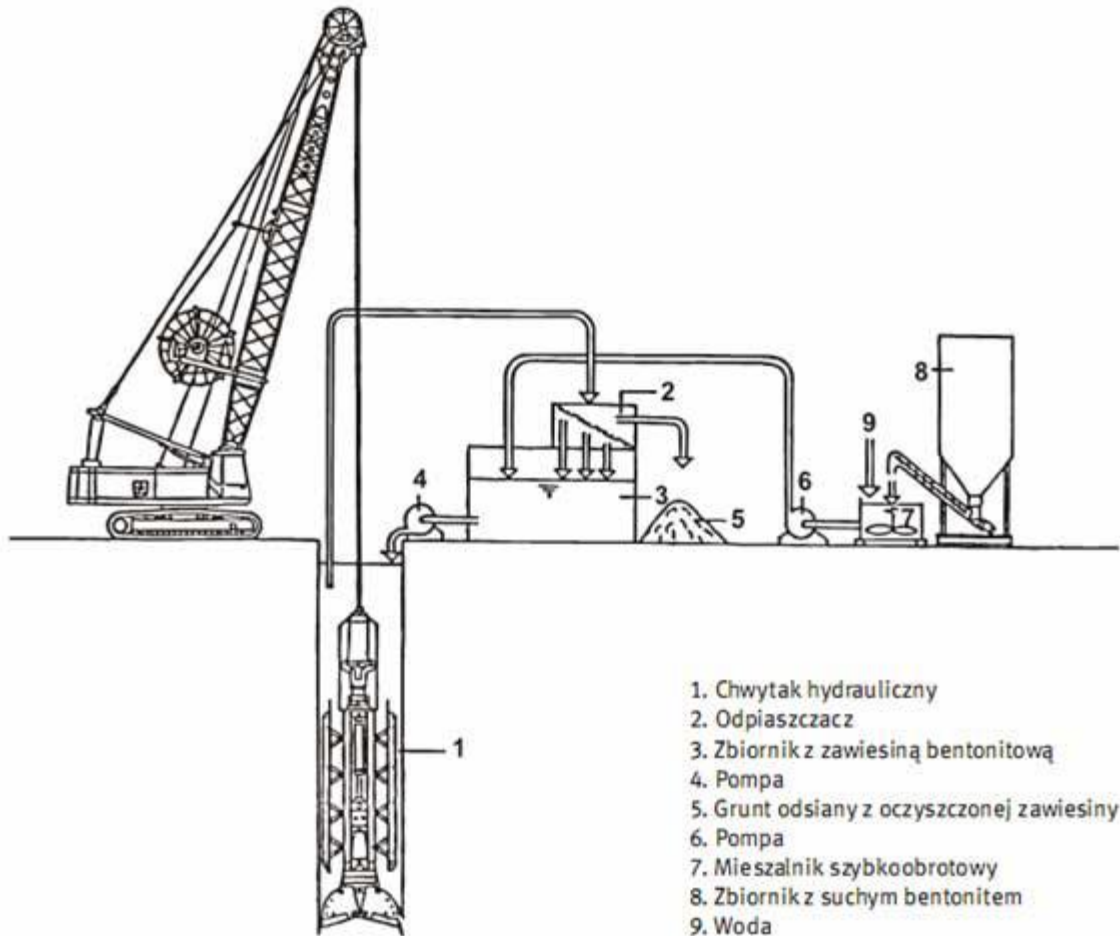
W myśl zaleceń Międzynarodowego Stowarzyszenia Robót Podziemnych, odpowiedzialność za ustalenie strategii zarządzania ryzykiem oraz ocena ilościowa i jakościowa ryzyka na etapie projektowania podstawowego spoczywa wyłącznie na Inwestorze, czyli w praktyce na prowadzącym Architekcie !

Głębokie wykopy {3a} - ściany szczelinowe



Budowa Narodowego Forum Muzyki we Wrocławiu w ścianach szczelinowych [projekt Chodor-Projekt] (2009)





Schemat organizacji placu budowy

Technologia wykonania ścian szczelinowych:

Formowanie konstrukcji ściany odbywa się bezpośrednio w gruncie. Proces głębienia rozpoczyna się od wykonania murków prowadzących, torujących kierunek pracy maszyny zarówno w poziomie jak i pionie. Następną fazą jest drążenie szczeliny przy zastosowaniu zawiesziny iłowej, dzięki której wąski wykop nie ulega zasklepieniu w trakcie głębienia. Ścianę szczelinową wykonuje się sekcjami, których wymiar w planie odpowiada szerokości chwytaka lub jego wielokrotności. Dodatkowo o podziale na sekcje decydują sąsiadujące z pracami warunki zabudowy oraz warunki gruntowo-wodne. Zazwyczaj wymiar sekcji w planie odpowiada szerokości chwytaka lub jest jego wielokrotnością.

Głębokie wykopy {3c} - ściany szczelinowe

Drażnienie szczeliny w gruncie do wykonania ściany szczelinowej odbywa się w zawieszynie bentonitowej, która stabilizuje wykop.

Zawiesina bentonitowa składa się z bentonitu oraz wody. Bentonit jest typowym materiałem o cechach tiksotropowych. Jego nazwa była wprowadzona przez amerykańskich geologów, którzy odkryli go w 1890 r. w stanie Wyoming (USA) niedaleko Ft. Benton w postaci składowisk łąk. Bentonit jako materiał mineralny czysty ekologicznie składa się z kwarcu, miki, pirytu, wapna i innych. Świeżo przygotowana zawiesina bentonitowa w czasie intensywnego mieszania ukazuje swoje podstawowe właściwości. Następuje silne pęcznienie mieszanki i akumulacja wody w krystalicznej strukturze minerałów bentonitu. Proces hydratacji ulega redukcji przy zwiększonej szybkości mieszania oraz w wyższych temperaturach otoczenia. Zawiesina utrzymuje cząsteczki gruntu do pewnej wielkości frakcji w swoim pierwotnym miejscu i nie dopuszcza do obsuwania się gruntu do środka wydrążonej szczeliny. Pożądana jest odpowiednio wysoka gęstość zawiesiny. Zawiesina bentonitowa penetruje w grunty spoiste oraz drobnoziarniste. W kontakcie pomiędzy gruntem a zawiesiną bentonitową woda jest odfiltrowywana i masa powstała na styku utrzymuje powierzchnię szczeliny. W gruntach żwirowych oraz niespoistych gruboziarnistych zawiesina penetruje w strukturę gruntu do pewnej głębokości. Nie powstaje masa filtracyjna i efekt stabilizacji uzyskiwany jest dzięki siłom tarcia oraz lepkości zawiesiny. Zawiesina bentonitowa jest tiksotropowa, tzn. wytrzymałość na ścianie oraz jej lepkość zanikają, gdy poddana jest drganiom lub jest przemieszczana. Pozostawiona w bezruchu uzyskuje ponownie swoje właściwości fizyczne. Dobór mieszaniny wodno-bentonitowej jest uzależniony od warunków geotechnicznych panujących w podłożu gruntowym. Skład mieszaniny jest wcześniej ustalony lub sprawdzony laboratoryjnie.

Następnie po osiągnięciu głębokości projektowej, przed betonowaniem, zabezpiecza się krawędzie sekcji, wprowadza się elementy rozdzielcze (zazwyczaj o przekroju kołowym) formujące styki sekcji oraz kosze zbrojeniowe. W zbrojeniu umieszcza się elementy niezbędne do późniejszej instalacji kotew gruntowych, rozpór lub stropów podziemnych kondygnacji (pręty startowe odginane po odkopaniu ściany), a także elementy dystansowe zapewniające projektowaną otulinę zbrojenia..

Głębokie wykopy {3d} - ściany szczelinowe



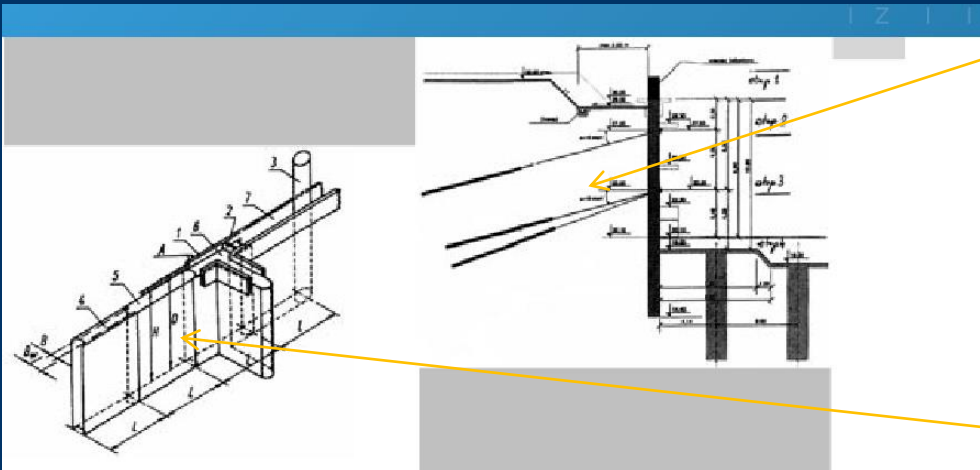
Chwytnik hydrauliczny do wykonywania ścian szczelinowych
(fot. Soletanche Polska)

Do szczeliny wprowadza się rurę kontraktorową i rozpoczyna się betonowanie. Wypierana zawieszina stabilizująca jest odprowadzana do zbiornika, gdzie następuje jej oczyszczenie, po czym nadaje się ona do ponownego użycia.

W planie ścianę wykonuje się co drugą sekcją i wtórnie głębi się sekcje pozostałe

Działanie takie zabezpiecza ścianę przed efektem klawiszowania.

Przed rozpoczęciem robót ziemnych ściana szczelinowa powinna zostać zwięziona ocepem żelbetowym w celu uzyskania lepszej współpracy sąsiednich sekcji. Po wykonaniu robót przystępuje się do oczyszczenia i ewentualnie wyrównania powierzchni.



Kotwy gruntowe
→ (cd wykładu)

Zbrojenie sekcji ściany szczelinowej



Głębokie wykopy {4} - obudowa berlińska

Po raz pierwszy została zastosowana podczas budowy metra berlińskiego na początku XX wieku. Obecnie obudowa berlińska jest jednym z najpopularniejszych, obok ściany szczelnej i szczelinowej, systemów obudowy głębokich wykopów i ma za zadanie przeniesienie parcia gruntu otaczającego wykop. Ścianka berlińska, złożona jest ze stalowych dwuteowników umieszczonych w gruncie oraz z opinki w postaci bali drewnianych, wypełniających przestrzeń pomiędzy palami stalowymi. Opinkę zakłada się sukcesywnie w miarę głębienia wykopu, który wykonuje się etapami w zależności od rodzaju i stanu gruntu.



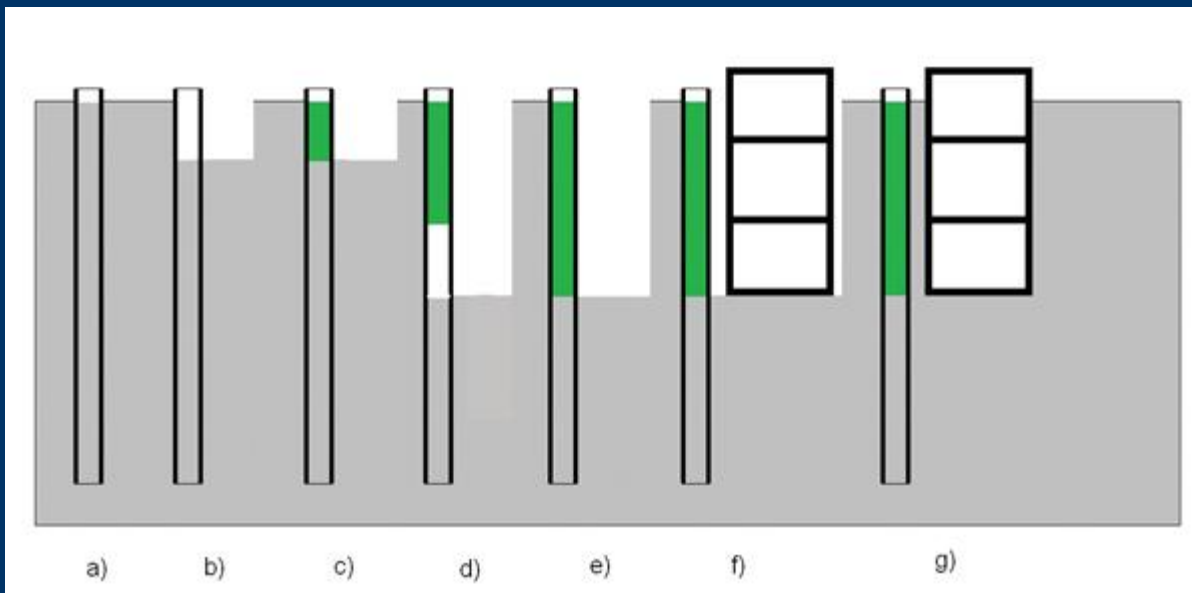
Obudowę berlińską stosuje się zwykle powyżej poziomu wody gruntowej. Za względu na nieszczelność obudowy możliwe są wycieki wody z gruntu do wykopu, ale w takiej sytuacji należy zadbać, aby wypływająca woda nie wypłukiwała do wykopu gruntu zza obudowy. Możliwość swobodnego wypływu wody do wykopu zabezpiecza przed spiętrzeniem poziomu wody wynikającym ze zbudowania w gruncie szczelnej przegrody.

W przypadku niewielkich głębokości (3–4 m) ściana może pracować wspornikowo. Przy głębszych wykopach stateczność ściany zapewniają kotwy gruntowe lub rozpory stalowe.

Głębokie wykopy {4a}. Obudowa berlińska cd

Fazy wykonywania obudowy berlińskiej przedstawiono schematycznie na rysunku:

- zagłębienie pala,
- częściowy wykop z odsłonięciem pala i skarpy,
- wykonanie opinki na odsłoniętej części,
- kolejne fazy wykopu z uzupełnianiem opinki, wykop do pełnej głębokości,
- wykonanie opinki do pełnej głębokości wykopu,
- wykonanie konstrukcji docelowej w wykopie,
- zasypanie pachwiny, najczęściej z pozostawieniem opinki.



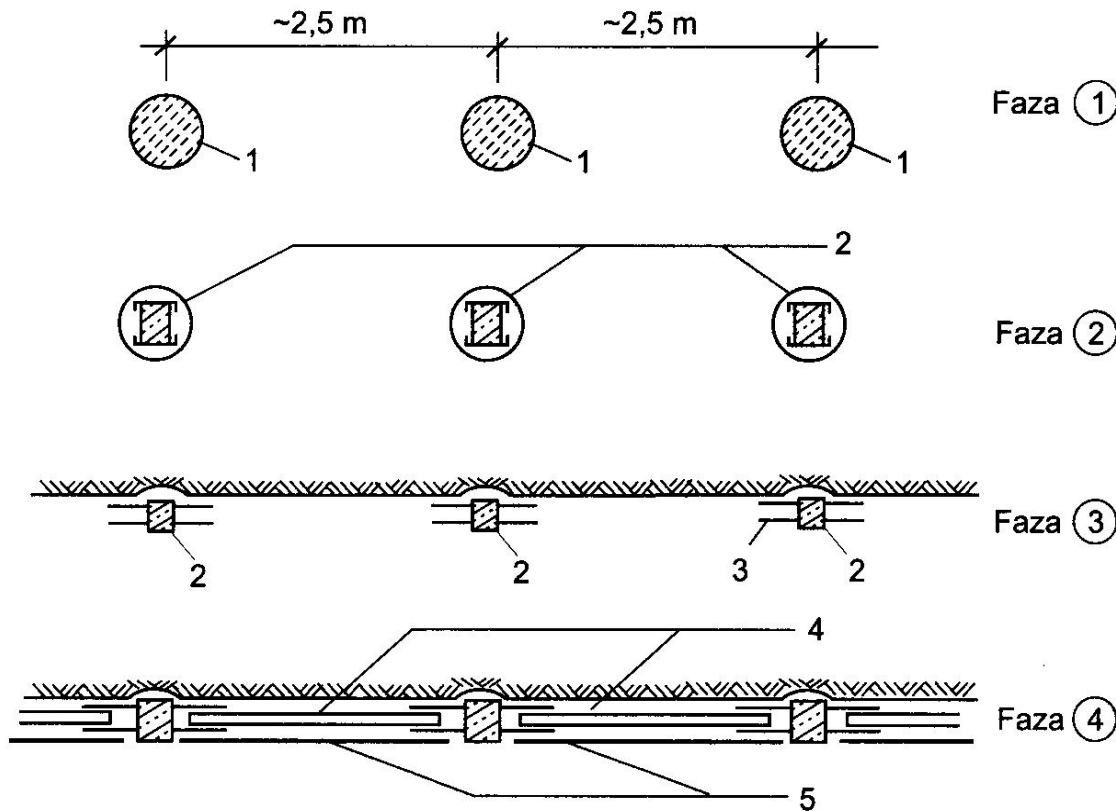
Zalety obudowy berlińskiej:

- relatywnie nieduży koszt (mniejszy niż ściany szczelinowej),
- akceptowalny koszt również przy małym zakresie robót,
- łatwość kształtowania obudowy w planie,
- możliwość zastosowania jako tymczasowe przedłużenie ściany szczelinowej.

Do wad obudowy berlińskiej można zaliczyć:

- niemożność wykonania w bezpośrednim sąsiedztwie istniejących budowli, ze względu na większe niż w ścianach szczelinowych odkształcenia przyległego terenu,
- nieprzydatność w gruntach poniżej poziomu wody lub łatwo osypujących się (np. piaski jednofrakcyjne),
- konieczność wykonania oddzielnej ściany docelowej,
- mała nośność pionowa.

Głębokie wykopły {5}. Ściana paryska



Rys. 2.9. Schemat ściany paryskiej [231]

1 – otwory wiercone w gruncie w osłonie zawiesziny łożowo-cementowej, 2 – prefabrykowane szupy żelbetowe z prętami zbrojowymi, 3 – odgięte pręty startowe, 4 – zbrojenie ściany, 5 – szalowanie
faza ① – wiercenie otworów, faza ② – włożenie w otwory prefabrykowanych szupów,
faza ③ – głębienie wykopu, odsłanianie szupów i odginanie prętów startowych,
faza ④ – układanie zbrojenia ściany i zewnętrznych szalunków, faza ⑤ – betonowanie ściany,
faza ⑥ i kolejne – powtarzanie czynności z faz ③, ④ i ⑤

Odmiana obudowy berlińskiej, polegająca na zainstalowaniu w gruncie prefabrykowanych szupów żelbetowych z pozostawionymi prętami zbrojowymi. W miarę wybierania gruntu pręty odsłania się i odgina, a następnie po ustawieniu siatki zbrojeniowej betonuje fragment wykopu. technologia po raz pierwszy zastosowana we Francji.

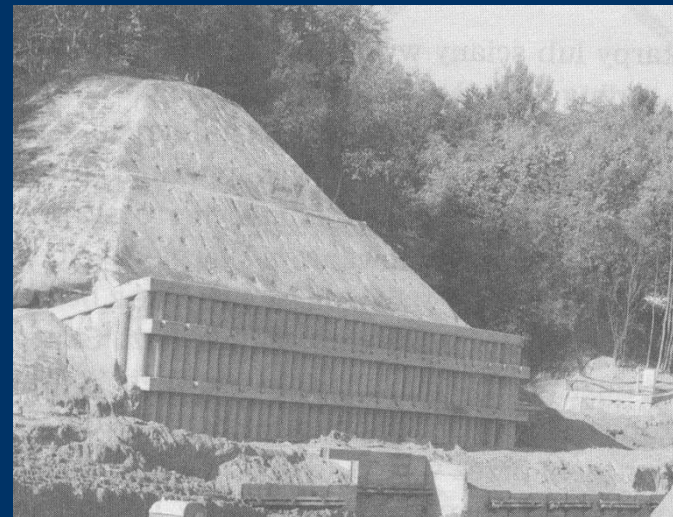
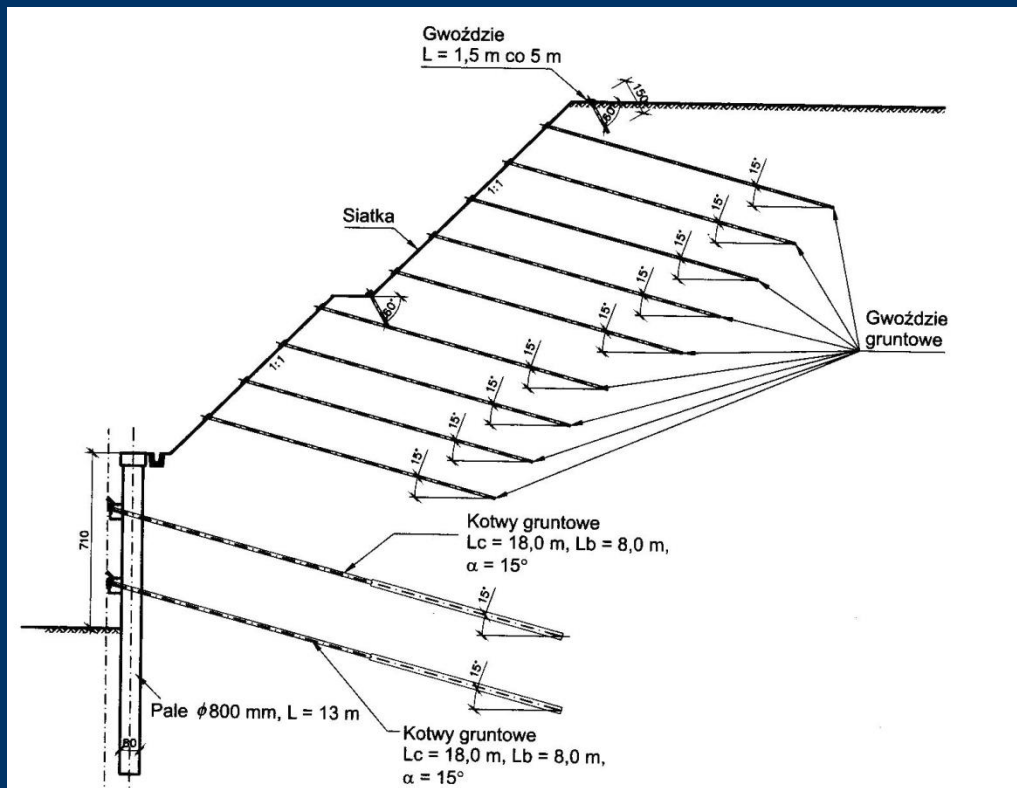
Głębokie wykopy {6} . Ścianka szczelna

Ścianka szczelna (sheet pile wall) jest obudową tymczasową lub stałą z grodzic stalowych , stosowaną najczęściej do obudowy wykopu w gruntach nawodnionych, zwłaszcza spoistych



Głębokie wykopy {7} . Ściana gwoździowana

Gwoździowanie (wall mailing) skarpy lub wykopu polega na zbrojeniu gruntu gwoździami gruntowymi o długości od 4 m do 8 m. Gwoździe do gruntu nazywane są inaczej kotwami biernymi (tzn taka, która nie jest bezpośrednio obciążona, a tylko poprzez pobocznice). O kotwach czynnych w dalszej części wykładu.



Widok obudowy z gwoździami gruntowymi, palisady z pali CFA oraz obudowy berlińskiej [5]

Przekrój przez ścianę gwoździowaną [4]

Głęboki wykop umożliwia wykonanie konstrukcji podziemia obiektu kubaturowego, obecnie przede wszystkim kondygnacji garażowych, przejść, tuneli itd..

Metody wykonania głębokich wykopów

1. Wykop szerokoprzestrzenny – najprostszy (najtańszy, najszybszy), wymaga jednak rozległego miejsca w terenie, co jest coraz częściej niemożliwe, ze względu na budowę w terenie już zurbanizowanym lub sąsiedztwo innych działek
2. Wykop w obudowie wzmocnionej rozporami
3. Wykop z przyporą z gruntu rodzimego
4. Metoda stropowa
5. Metody kombinowane

Wykopy szerokoprzestrzenne →

są stosowane coraz częściej ze względu na:

- * czynnik ekonomiczny,
- * brak potrzeby reperacji nierównych ścian szczelinowych

*szybki czas realizacji

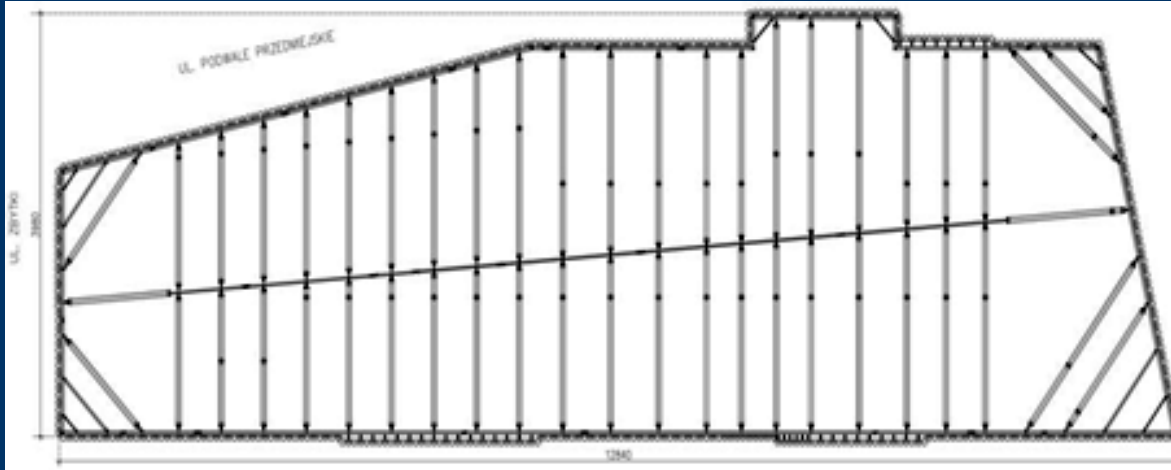
* wysoka jakość fundamentowania w tradycyjnych technologiach

Stosowane warianty zabezpieczenia wykopów szerokoprzestrzennych nie mają większych ograniczeń: ściany oporowe przegrody zbrojone lub samostateczne →



Wykop szerokoprzestrzenny i osiedle Wilanów [www.debi.com.pl]

Głębokie wykopy {7a}. Wykop w obudowie z rozporami

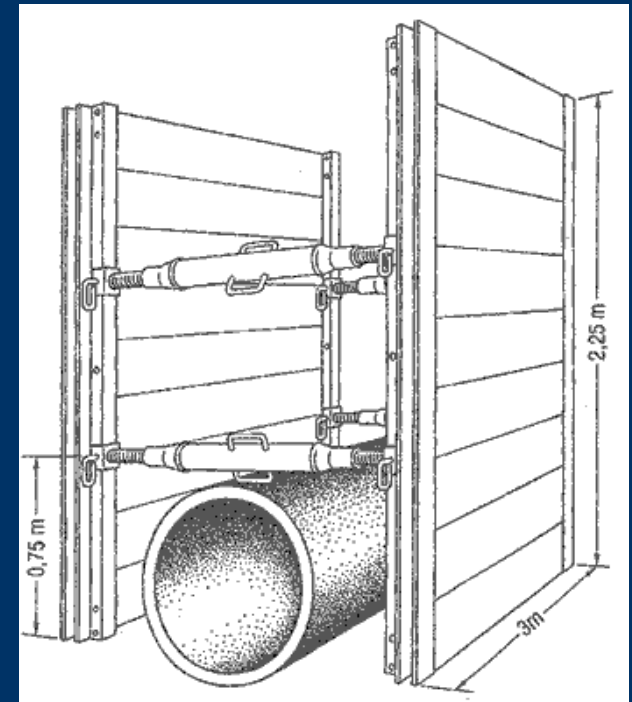


Plan rozparcia obudowy z palisady , wykonanej z pali DSM [www.keller.com]



Rozparcie obudowy , to zastosowanie prętów sztywnych wewnątrz wykopu i poparcie ich na obu przeciwległych ścianach w tym w narożu

Jako rozpory stosuje się pręty stalowe z rur lub HEA lub HEB.



Realizacja rozparcia obudowy po garaż podziemny [Michalak H, Górnictwo (2009)]

Rozparcie lekkiej obudowy systemowej

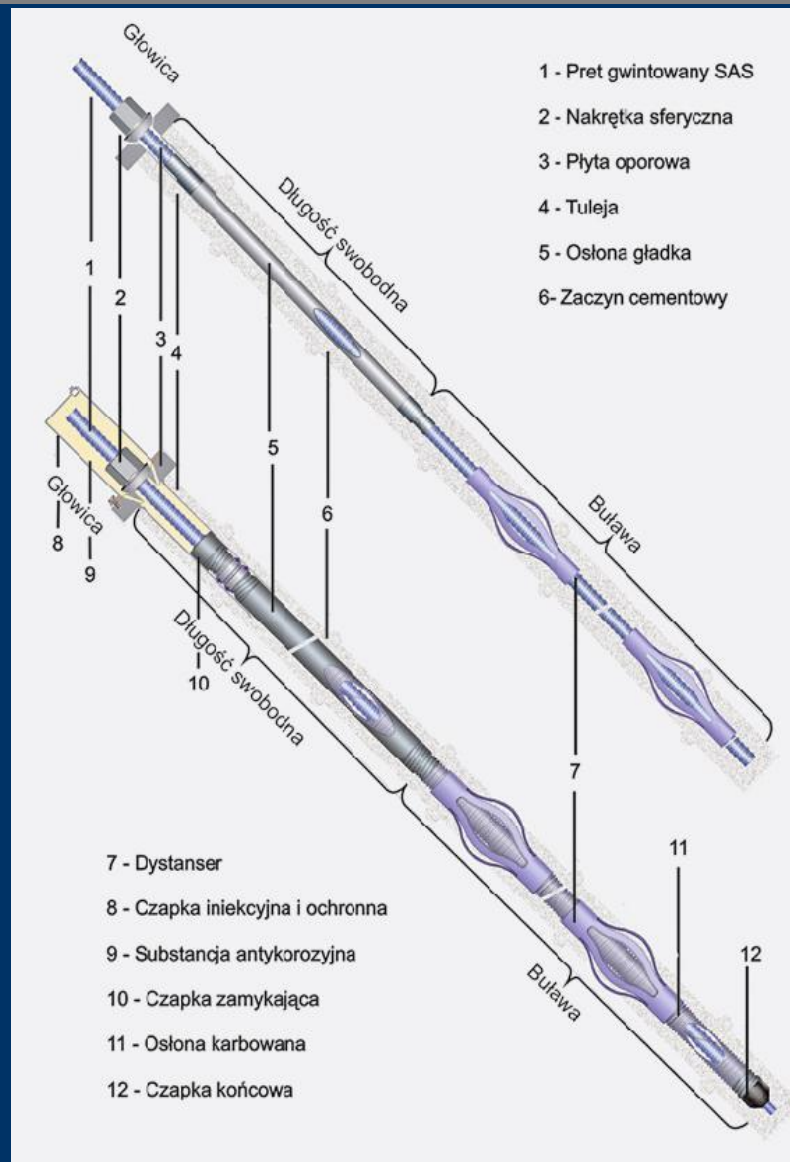
Głębokie wykopy {7b}. Wykop w obudowie kotwionej

Kotwy gruntowe są to najczęściej liny stalowe (sploty \varnothing 15,5mm), lub pręty stalowe → zaopatrzone w głowicę łączącą cięgno z konstrukcją oraz buławę na końcu cięgna zakotwionym w gruncie nośnym. Wokół cięgien, a szczególnie w obszar buławy wprowadza się zaczyn cementowy metodą iniekcji.

Buława kotwy jest wprowadzana w grunt nośny poza obszar otaczających obudowę. Buława przenosi obciążenia na grunt, leżący poza klinem odłamu lub strefę gruntów nienośnych. Jest to rozwiązanie stosowane powszechnie na całym świecie. Umożliwia kotwienie wszelkiego rodzaju obudów berlińskich, ścian szczelinowych, palisad, ścian z grodzic stalowych itd.

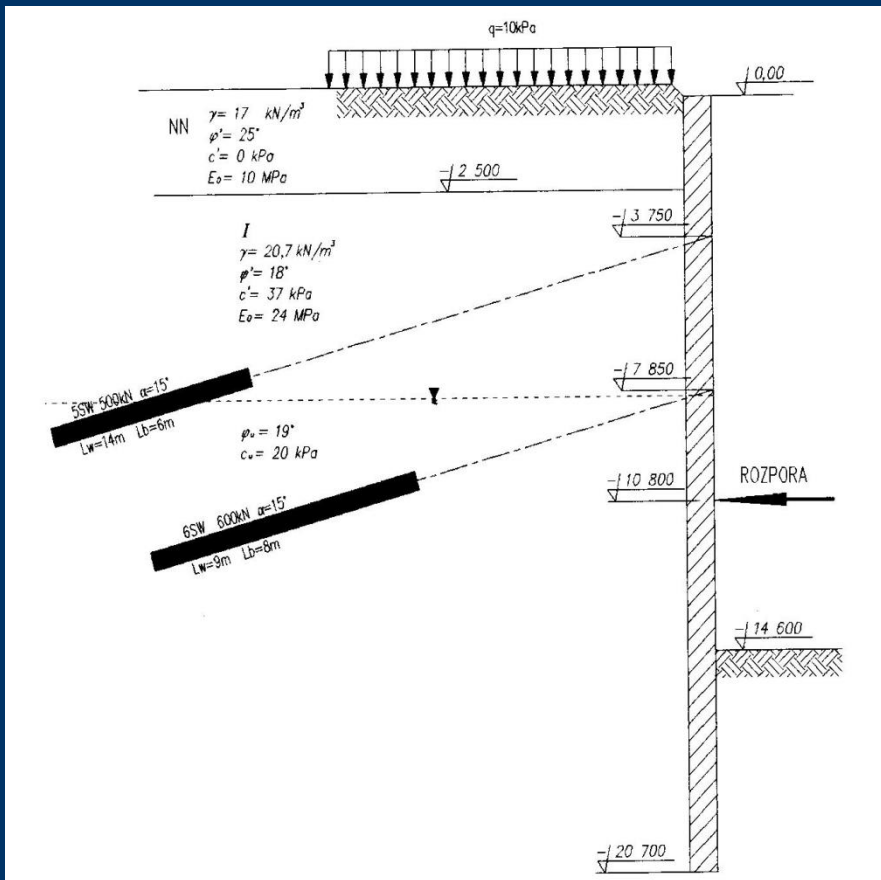
Rozróżnia się dwa rodzaje kotew gruntowych: czasowe (do dwóch lat eksploatacji) - wykorzystywane do kotwienia murów oporowych zabezpieczenia skarp, przyczółków mostowych, itp. stałe (do 50 lat eksploatacji).

Otwory pod kotwy wykonuje się różnymi metodami, zależnie od warunków gruntowych i lokalnych (zabudowa, sąsiadujące budynki), najczęściej: świdrami „na sucho” i z płuczką wodną, systemem dwuprzewodowym z przedmuchem powietrza lub płuczką. Gwoździowanie to również stosowanie kotew.

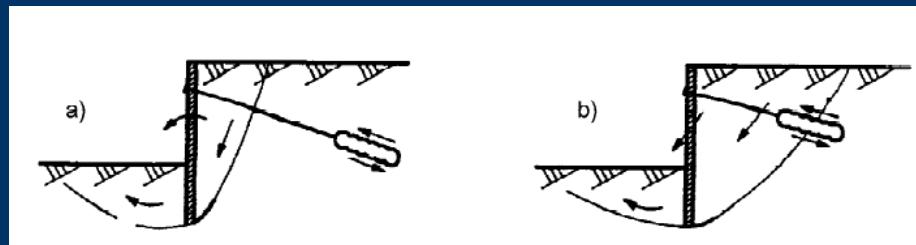


Głębokie wykopy {7c} . Wykop w obudowie kotwionej cd

Kotwy gruntowe muszą mieć najczęściej dość dużą długość (od kilku do kilkudziesięciu metrów) więc istotne jest zagadnienie ingerencji w działki sąsiednie i konieczność uzyskania zgód oraz pozwolenia na budowę.



Przekrój przez obudowę z kotwami .
Budowa stacji metra Warszawa [4]



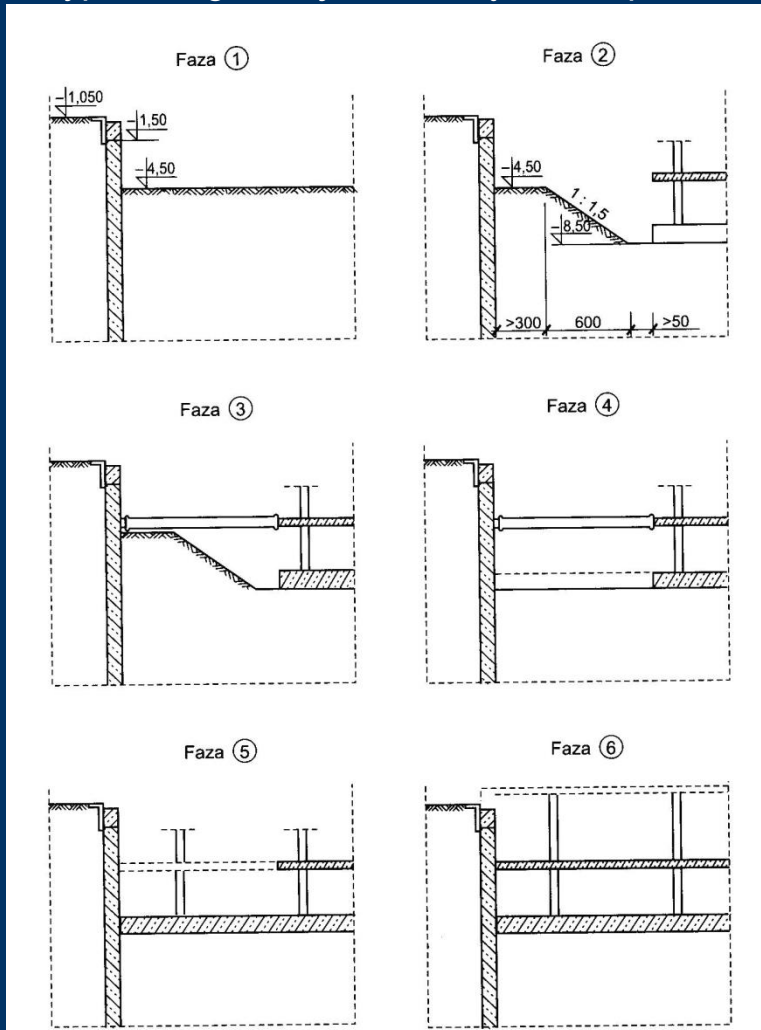
Schematy zniszczenia z wyrwaniem kotew [PN-EN 1537]
Kotwy gruntowe należy sprężać, tak by naciąg kotwy był zawsze większy od siły przekazywanej na kotwę.



Przykład zastosowania kotew [www.bbr.pl]

Głębokie wykopy {7d}. Wykop z przyporą z gruntu

Przypora z gruntu jest rozwiązaniem pomocniczym i może być stosowana , gdy:



Wykonywanie przypory z gruntu rodzimego [4]

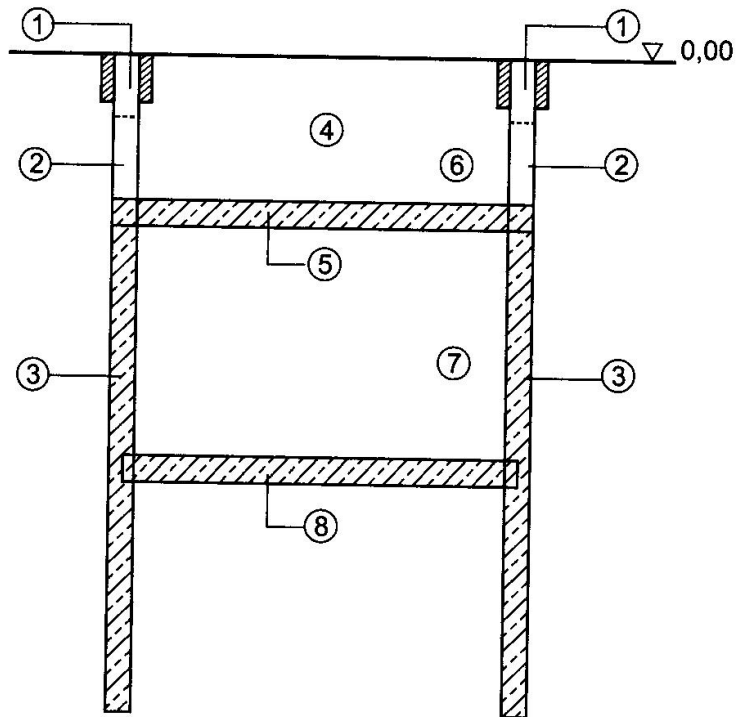
- 1) W bliskim sąsiedztwie wykopu brak zabudowy obciążającej naziom lub istniejące obiekty są posadowione poniżej dna projektowanego wykopu,
- 2) Grunt rodzimy tworzący przyporę jest nośny o odpowiednich parametrach (wyklucza się grunty spoiste w stanie plastycznym i niespoiste średnio zagęszczone lub luźne)
- 3) Głębokość docelowa wykopu nie przekracza 7,5 m
- 4) Układ konstrukcyjny budowanego obiektu nie koliduje z przyporą
- 5) Nie zaleca się przypór dla obudowy wykonanej w technologii ściany szczelnej lub berlińskiej, które są zbyt wiotkie.

← Fazy wykonania przypory z gruntu:

- (1) pełny wykop szerokoprzestrzenny na gł. ok 3,5 m
- (2) głębienie w części centralnej do rzędnej docelowej
- (3) wykonanie fragmentu konstrukcji, najczęściej do poz. najwyższej kondygnacji . Strop stanowi rozporę dla obudowy
- (4),(5),(6) przyporę z gruntu można usunąć wykonywać kolejny strop, usunąć przypory stropu wyższego itd.

Głębokie wykopki {8}. Metoda stropowa wykonania obiektu

Metodę stropową można stosować wtedy, gdy obudowę stanowią ściany szczelinowe. Fazy budowy:

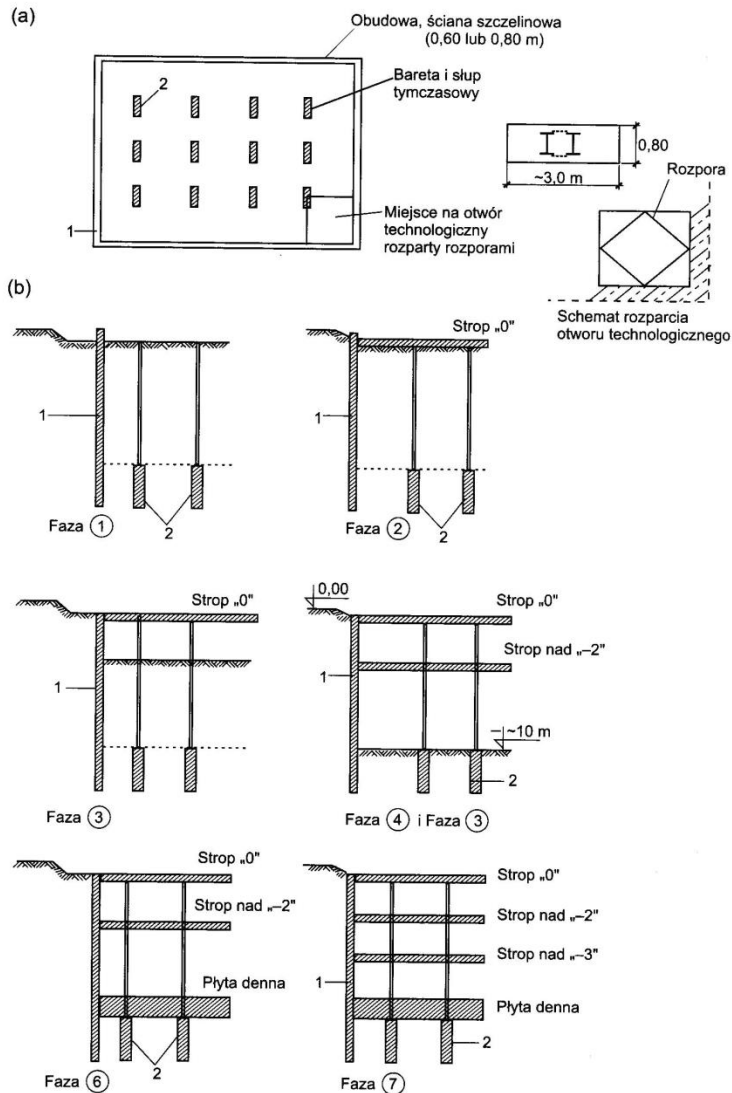


Fazy budowy metodą stropową [4]
(mediolańską, bo po raz pierwszy zastosowaną
w Mediolanie)

- (1) Wykonanie dwóch wąskich wykopków do gł. ok 2 m oraz zrobienie w nich ścianek prowadzących
- (2) głębenie sekcjami wykopków szczelinowych w osłonie zawiesziny ilowej (bentonit)
- (3) wykonanie ścian tunelu (są to ściany szczelinowe)
- (4) wykonanie wykopu szerokoprzestrzennego pomiędzy ścianami do głębokości dolnej krawędzi stropu najwyższej kondygnacji
- (5) wykonanie stropu najwyższej kondygnacji z pozostawieniem otworów w celu usuwania gruntu pod nim w kolejnych fazach.
- (6) zasypanie wykopu w obrysie poza obiektem i przywrócenie stanu powierzchni terenu
- (7) wybranie gruntu ze środka tunelu do poziomu kolejnej, niższej konsygnacji, wywożenie go poprzez pozostawione otwory w fazie (5)
- (8) powtarzanie kroków (7), aż do wykonania płyty dennej

Ze względu na sposób usuwania gruntu (7) metodę stropową nazywa się też metodą górniczą.

Głębokie wykopły {8b}. Metoda stropowa wykonania obiektu cd



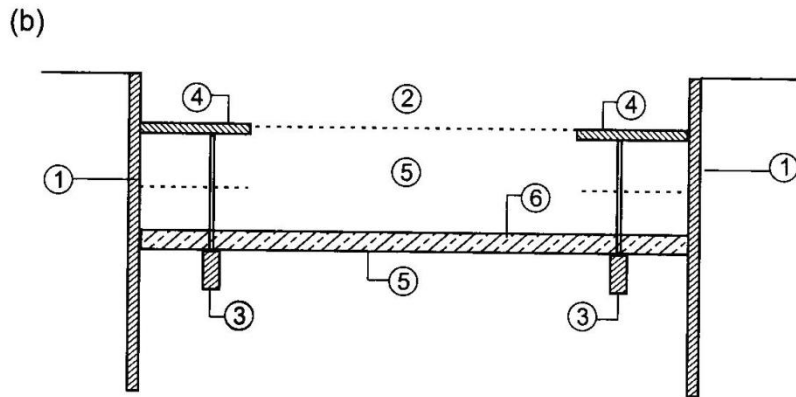
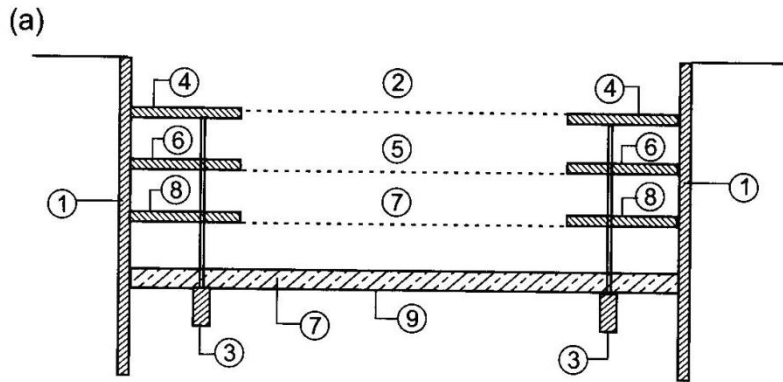
← Pełna metoda stropowa (kolejne wyjaśnienia – wprowadzono nowe numery faz) [4]

Prowadzenie prac pod powierzchnią terenu (metodą górniczą) jest kosztowne, tym bardziej, że często należy stosować roboczą wentylację na dolnych kondygnacjach

Metoda stropowa umożliwia jednak prowadzenie prac w gęstej zabudowie miejskiej, np. w śródmieściu Warszawy



Prace wewnątrz obiektu wykonywanego metodą stropową [www. soletanche.pl]



Fazy budowy metodą półstropową[4]

← Metoda półstropowa [4]

Polega na tym, że po wykonaniu ścian szczelinowych pierwszej fazy do gł. ok. 4,5 m roboty wykonuje się w otwartym wykopie, a ścian szczelinowa pracuje jako wspornik. Powoduje to duże przemieszczenia gruntu poza ścianą, więc wokół budowy nie może znajdować się zabudowa, szczególnie zabudowa cenna (np. zabytkowa), w tym obiekty infrastruktury (drogi, koleje)

Fazy:

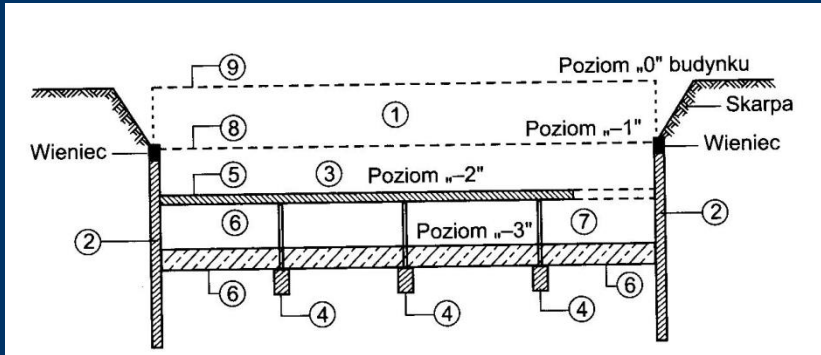
wykonanie obwodowych ścian szczelinowych

- (1) Wykop szerokoprzestrzenny do głębokości stropu nad kondygnacją najwyższą
- (2) Wykonanie z poziomu dna wykopu baret i osadzenie tymczasowych słupów (najczęściej stalowych)
- (3) Wykonanie na podłożu fragmentu stropu nad kondygnacją najwyższą na słupach tymczasowych
- (4) Głębienie wykopu poniżej rzędnej niższej kondygnacji (6) i następane – jak w pełnej metodzie stropowej

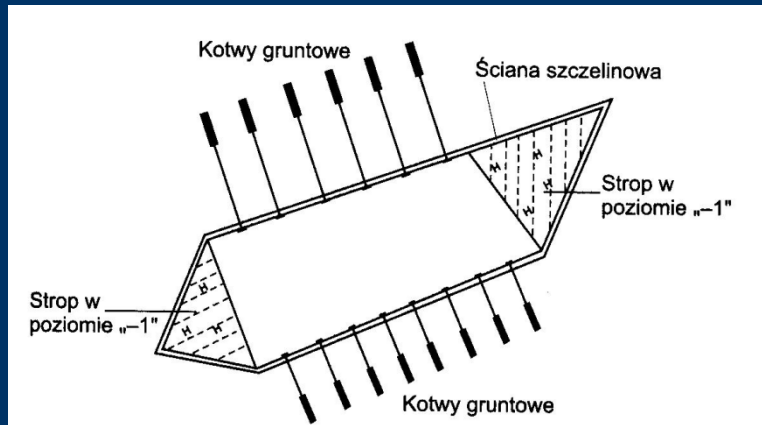
W metodzie stropowej budowy podziemi wysokich budynków jest możliwe równoczesne prowadzenie robót w górę i w dół . Taka technika nazywana jest metodą top&down. – przykład budowa budynku TP SA Warszawa

Głębokie wykopy {8d} . Metoda kombinowana wykonania obiektu

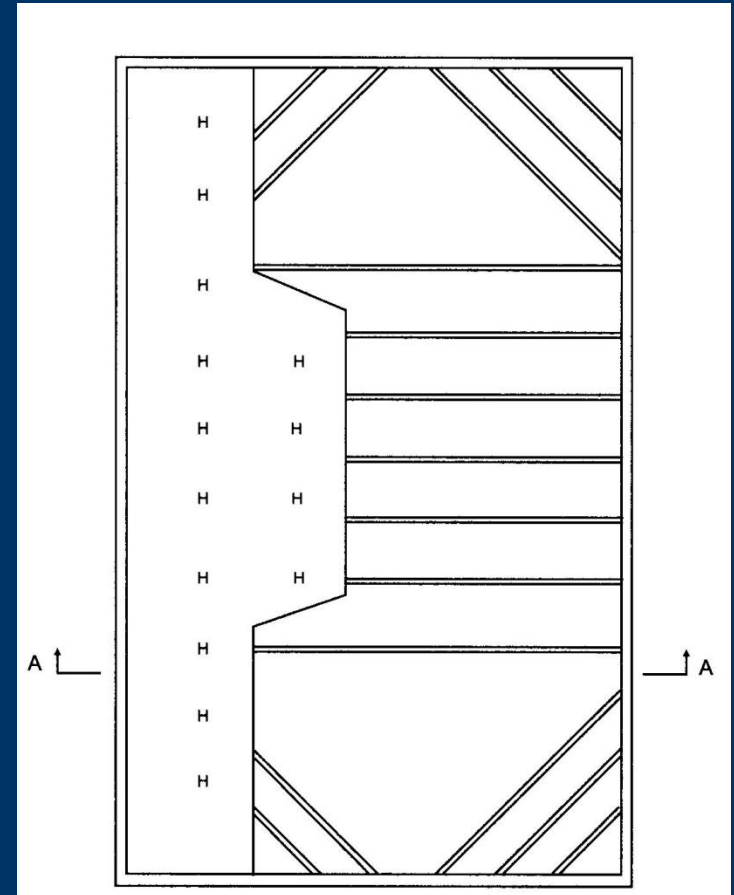
Najczęściej stosuje się metody kombinowane z omówionych wcześniej. Poniżej podano przykłady.



Metoda półstropowa i przypory gruntowe, pale CFA [4]



Rozparcie ścian szczelinowych w części stropem, a w części kotwami gruntowymi [4]



Rozparcie ścianek w części stropem, a w części rozporami [4]

Głębokie wykopy {8c}. Problemy odwodnienia wykopów

Podczas realizacji głębokich wykopów ważnym, złożonym zadaniem jest odwodnienie tego wykopu.

Woda w wykopie może pochodzić od pobliskich wód powierzchniowych (rzeki, jeziora, morze), ale również od wód gruntowych. Poziom wody gruntowej wskazują obowiązkowe badania gruntowo-wodne.

Najczęściej dno wykopu znajduje się powyżej poziomu wód gruntowych i to kilkanaście metrów (np. NFM Wrocław – slajd wcześniej).

Rozpatrzyć należy problemy ekologiczne (lej depresyjny, sposób wprowadzenia wody do kanalizacji lub cieków) oraz społeczne (brak wody w okolicznych studniach, itd.) – tu potrzebny Architekt !

Ze względu na sposób ujęcia wody gruntowej rozróżnia się odwodnienie:

- studniami (średnica rur powyżej 200 mm)
- igłostudniami (średnica rur 70 do 200 mm)
- igłofiltrami (średnica rur poniżej 70 mm)
- Mieszane studnie-igłostudnie-igłofitry

Ze względu na sposób dopływu wody do filtrów rozróżnia się odwodnienia:

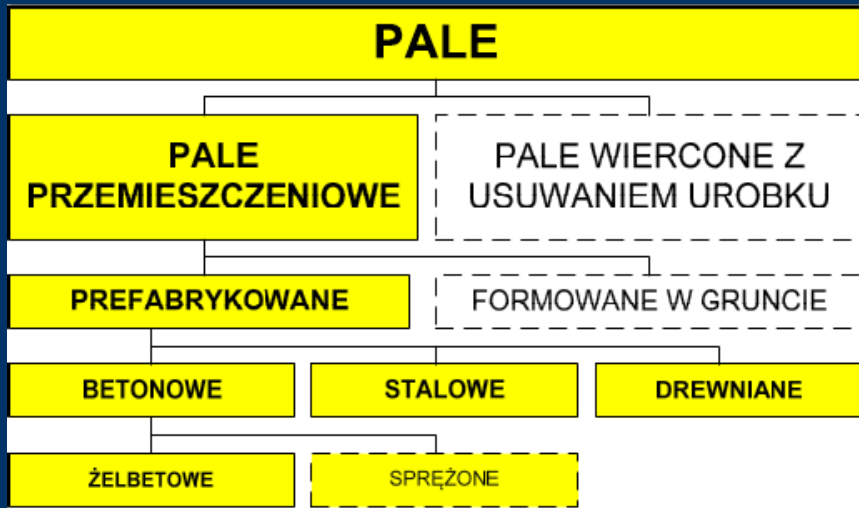
- grwitacyjne(studnie)
- podciśnieniowe (igłostudnie, igłofitry)
- Elektroosmotyczne (igłofitry)

Ze względu na sposób odprowadzenia wody :

- do kanalizacji
- do stawów , jezior
- Do rowów, cieków wodnych i rzek

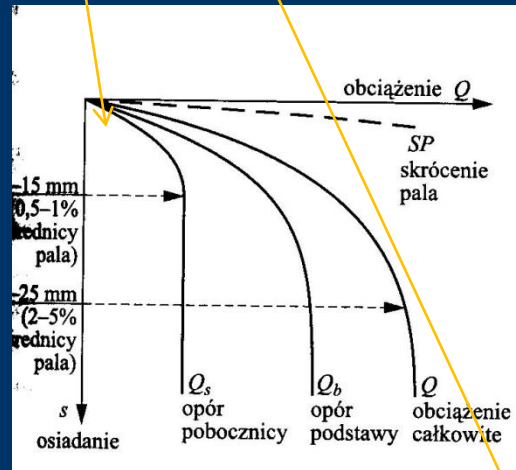
W zależności od sposobu i ilości odprowadzanej wody oraz czasu zrzutu wody należy uzyskać zgody stosownych instytucji w szczególności RDOŚ (Rejonowej Dyrekcji Ochrony Środowiska), co może być długotrwałe.

Klasyfikacja pali

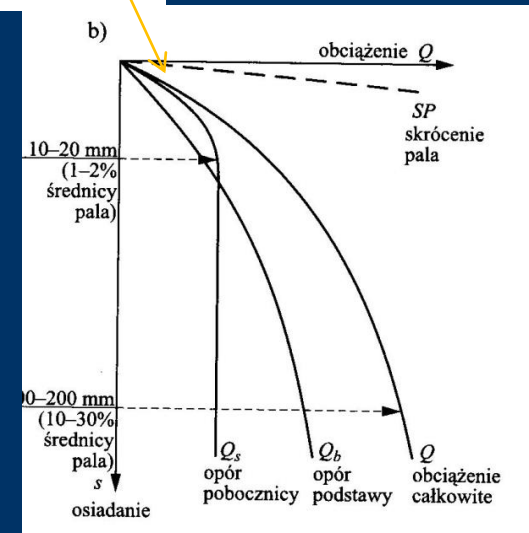
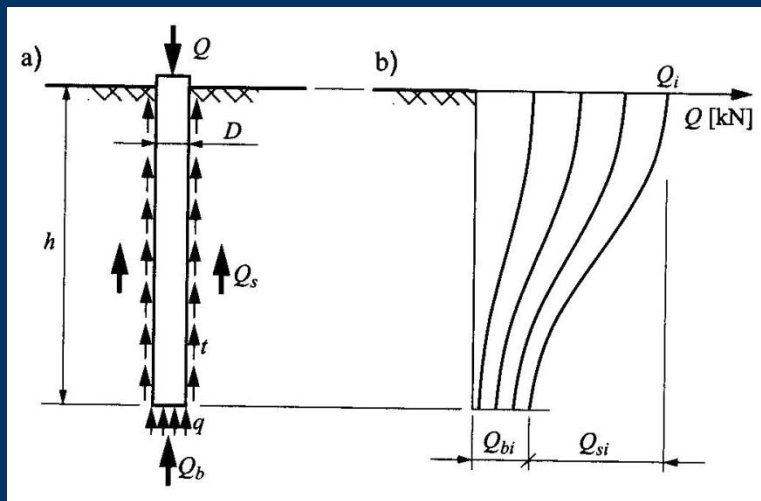


Rodzaje pali [3]:

- wbijane (przemieszczeniowe)
- wiercone (z usuwaniem urobku)



Schemat pracy
pala w podłożu
gruntowym [3]



Ekologiczne aspekty zastosowania fundamentów na palach

Projektowanie i budowa coraz większych i bardziej obciążonych obiektów budowlanych są związane z przekazywaniem bardzo dużych obciążeń na grunt. Jednocześnie obiekty są realizowane w coraz trudniejszych warunkach gruntowych (wykorzystywane są wolne obszary, gdzie warunki gruntowe wątliwe, a także koliduje z szeroko rozumianą ochroną środowiska oraz zachowania naturalnego stanu terenów. Dlatego roboty geotechniczne są szczególnie ważne, w tym wzmocnienie gruntów oraz specjalne sposoby posadowienia obiektów, a także technologii, które będą przyjazne dla środowiska. Stosowanie fundamentów głębokich coraz częściej jest związane z występowaniem silnie nawodnionych gruntów słabonośnych, co wiąże się z czynnościami:

- * wbijanie w podłoże różnych elementów m, np. pali żelbetowych i stalowych ścianek szczelnych
 - * wykonywanie pali wierconych, studni, ścian szczelinowych, połączone z wydobywaniem gruntu na powierzchnię terenu,
 - * pograżanie różnych elementów konstrukcyjnych za pomocą młotów i wibratorów, wywołujących drgania, hałas
 - * ulepszanie podłoża gruntowego za pomocą technik wibracyjnych
 - * zastosowanie **wybuchów** i mikrowybuchów do ulepszenia podłoża
- Nowoczesne technologie palowe („ekologiczne”) powinny uwzględniać:
- * przemieszczanie gruntu na boki w trakcie wykonywania pali, dogęszczania podłoża i poprawy możliwości przenoszenia obciążeń
 - * **technologie nie powodujące wydobywania gruntu na powierzchnię** – dotyczy to szczególnie gruntów nawodnionych i w obszarach przemysłowych. Możliwość pozostawiania w/w gruntów w miejscu ich naturalnego zalegania
 - * znaczące ograniczenie transportu gruntów słabonośnych
 - * **technologie pali nie powodujące wstrząsów i drgań**
 - * **dobór metod zapewniający duże tempo robót**

Rodzaje pali wbijanych:

- prefabrykowane żelbetowe
- stalowe
- Vibrex, Foundex
- Franki

Prefabrykowane, żelbetowe pale wbijane

Zalety [3] :

- Szybkość wbijania 200-350 pali dziennie za pomocą jednej palownicy
- Znaczna długość pali - do 45 m (przy zastosowaniu pali łączonych)
- Łatwość dostosowania aktualnej długości do lokalnych warunków gruntowych wysokiej klasy beton
- „czysty” plac budowy bez wydobywania gruntów na powierzchnię i ich wywóz
- Niewielka ilość sprzętu na budowie
- Możliwość wbijania pali nachylonych w dużym pochyleniu
- Możliwość bieżącej kontroli wbijania za pomocą zależności dynamicznych
- Wykonanie wstępnych badań pali na podstawie zależności dynamicznych i statycznych prób
- Możliwość kontynuacji robót obciążenia pali bezpośrednio po ich wbiciu w podłoże
- Dobra praca pali na wyciąganie, umożliwiającą doprowadzenie zbrojenia do końca pala
- Praktycznie pełna niezależność od warunków pogodowych
- Umożliwiają dogęszczenie podłoża gruntowego jako pale w pełni przemieszczeniowe
- Równomierna praca całego fundamentu palowego (grupy pali)



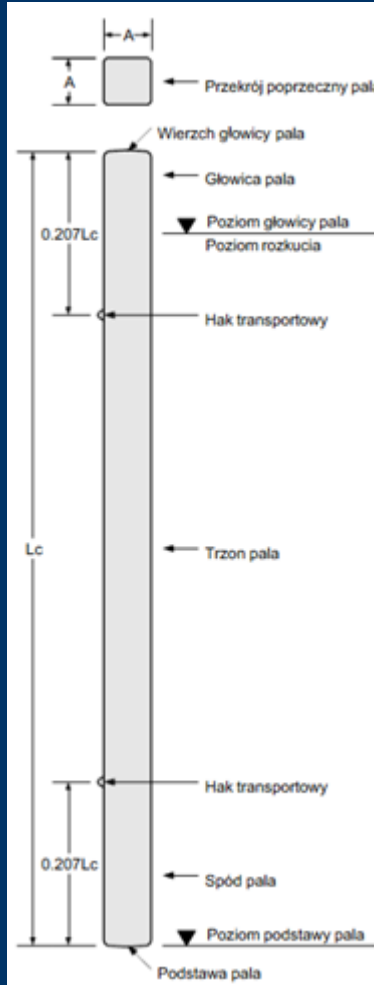
Zrekonstruowany katar z czasów rzymskich do wbijania pali drewnianych

Powyższe zalety sprawiają, że obecnie pale żel betowe stosuje się szeroko w budownictwie powszechnym, przemysłowym i komunikacyjnym.(mosty, nasypy), a także w budownictwie wodnym

Pale {3a}. Prefabrykowane żelbetowe pale wbijane cd



Pal żelbetowy w czasie instalacji (długość 43 m)



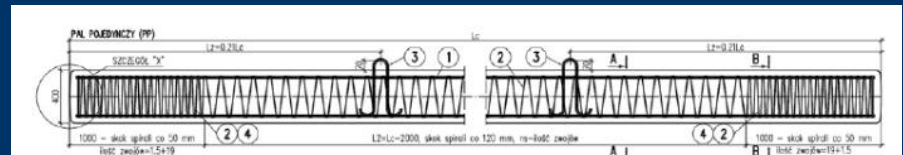
Schemat pala żelbetowego betonowego zbrojonego →



Głowice pali po osadzeniu

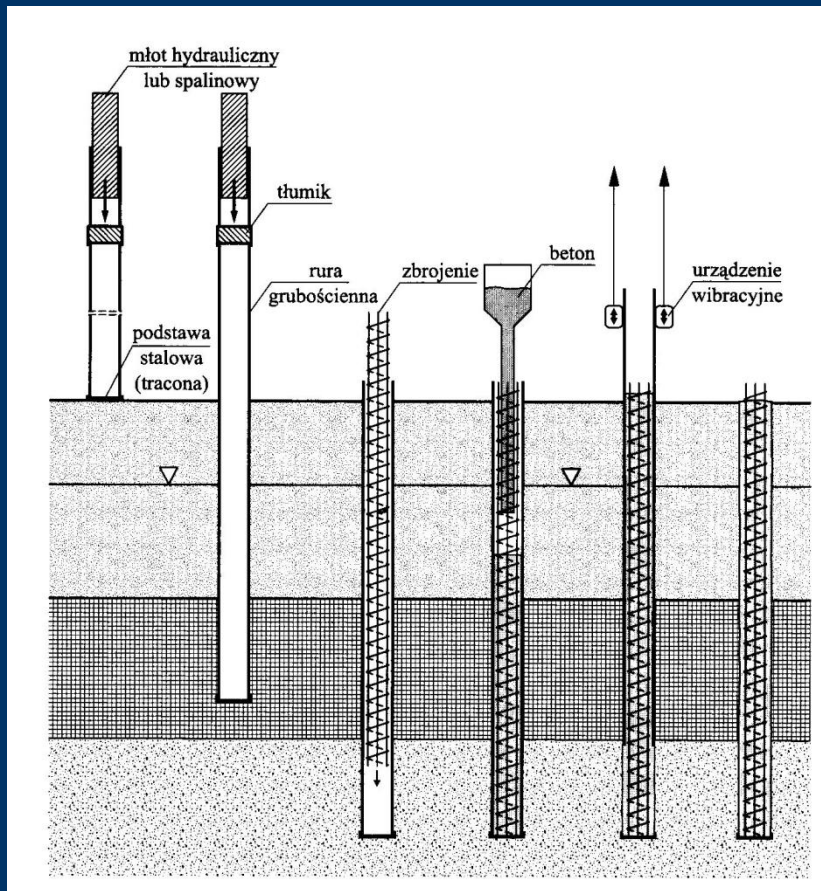


Łączenie odcinków pala

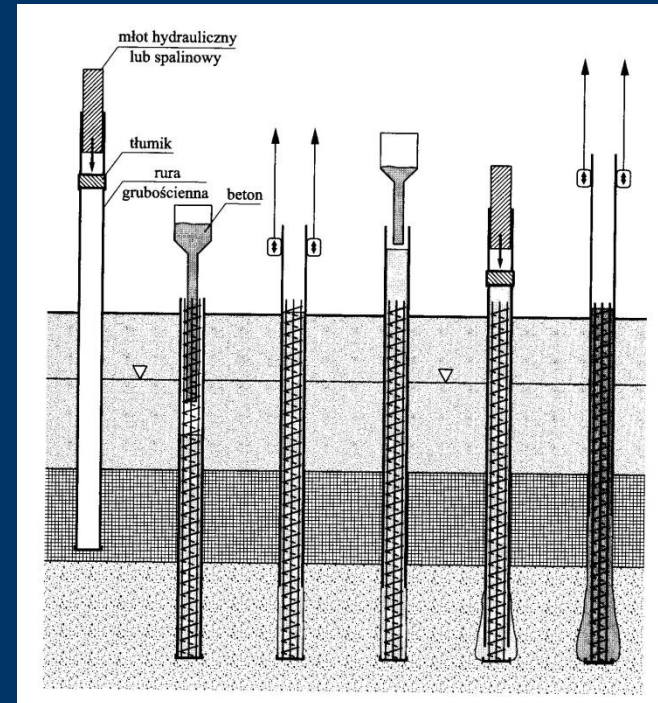


Pale {3c}. Vibro-Fundex, Vibrex, Fundex

Wykonanie pali Vibro-Fundex i Fundex polega na wbiciu stalowej rury z uszczelnioną podstawą za pomocą młota hydraulicznego lub spalinowego. Następnie do suchego wnętrza rury wprowadza się zbrojenie i rurę wypełnia betonem.



Etapy wykonywania pali Vibro-Fundex

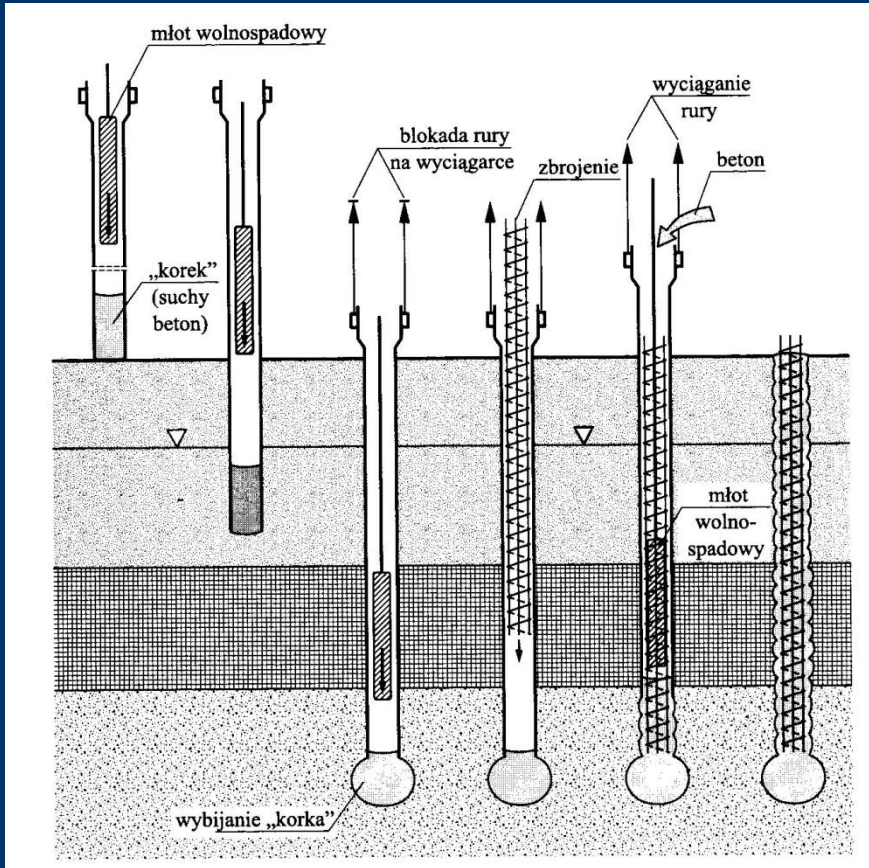


Pale Vibrex

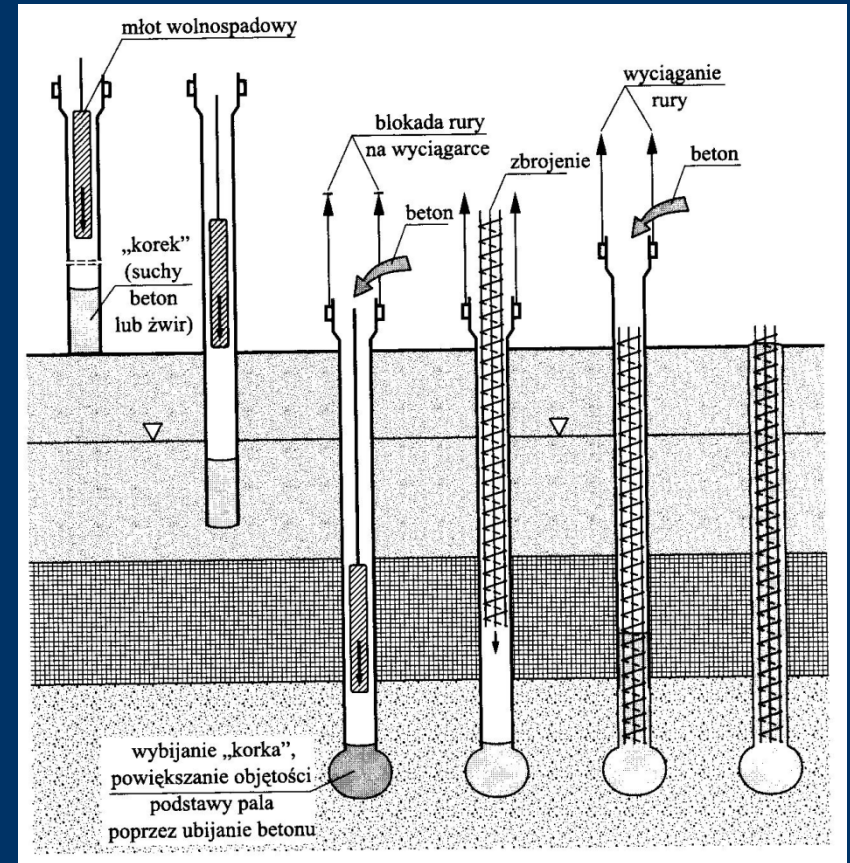
Technologia Vibrex polega na tym, że po wbiciu rury i wypełnieniu betonem, przy jednoczesnym wibrowaniu i wyciąganiu, rurę podciąga się na wysokość 1,5 do 3 m, po czym powtórnie wbija, co powoduje poszerzenie podstawy i zagęszczenie podłoża.

Pale {3d}. Pale Franki

Pale Franki należą do najstarszych (1908). Jest to wbijany pal z rury stalowej o średnicy 500-600 mm. Praktyczna długość wynosi 12 do 20 m. Obecnie stosuje się nieco tylko zmodyfikowaną technologię Franki



Etapy wykonywania klasycznych pali Franki



Zmodyfikowana technologia Franki. Wariant bez sukcesywnego wybijania i powiększania pobocznic

Pale wiercone. Typy:

1. Pale wykonywane bez rur osłonowych:

- CFA – pale formowane świdrem ciągłym
 - * Starsol – wariant CFA z podwójną rurą rdzeniową
 - * PCS Lambda – wariant CFA z większą średnicą świdra
 - * CFP, SPGO, CSP – wariant CFA przez połączenie z tradycyjnymi palami wierconymi
 - * Soilex – wariant CFA przez połączenie z technologią wykonania z rozszerzoną komorą pod podstawą pala
 - * mikropale CFA - wariant CFA przez połączenie z iniekcją specyficzną dla mikropali i kotew gruntowych
 - * Omega i CG Omega – są palami w pełni przemieszczeniowymi, ale w technologii wiercenia (specjalna konstrukcja wiertła)
 - * Atlas - pale wkręcane w grunt z wciskaniem, betonowane na sucho
 - * SDP, FDP – pale przemieszczeniowe, wkręcane maszynami o nieco zróżnicowanych parametrach
 - * de Wall – pale przemieszczeniowe o specjalnie ukształtowanym świdrze
- * Tubex – pale wkręcane z iniekcją na pobocznicy

2. Pale wiercone wielkośrednicowe

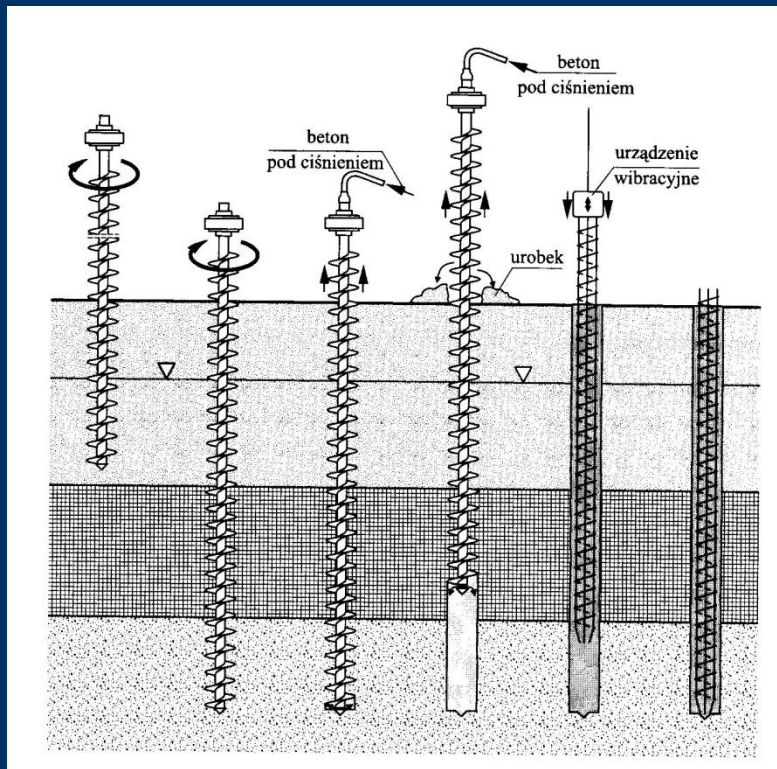
3. Pale wiercone z iniekcją pod, podstawą i na pobocznicy



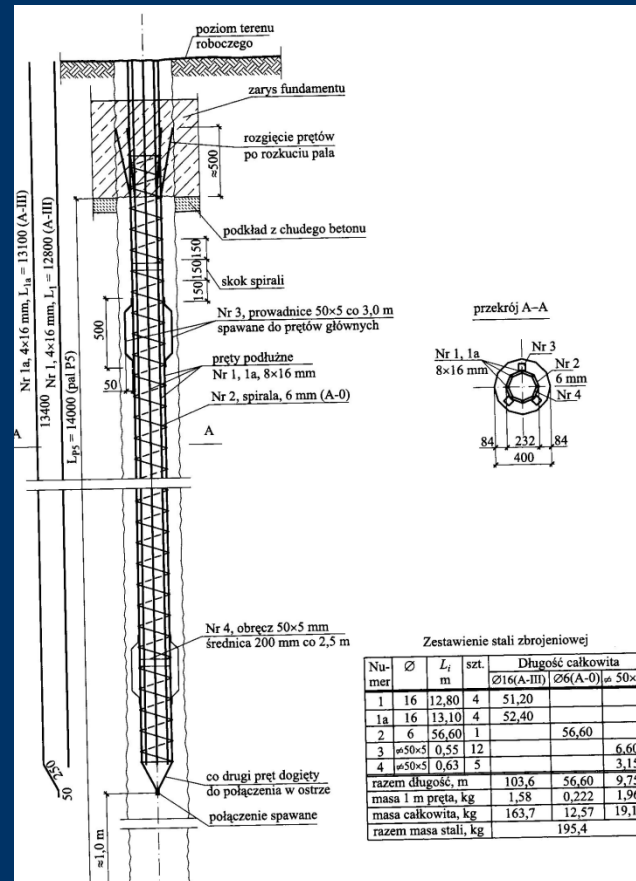
Wiertnica do palowania

Pale wiercone {4a}. Pale CFA

Pale CFA (Continues Flight Auger) są formowane z zastosowaniem świdra ciągłego. Polega na wwierceniu w grunt świdra ślimakowego na pełną długość pala. W czasie pogrążania świdra, grunt jest częściowo rozpychany na boki, a częściowo wynoszony na powierzchnię. W czasie podciągania świdra, przez przewód rdzeniowy jest tłoczony pod ciśnieniem beton. Bezpośrednio po betonowaniu wprowadza się kosz zbrojeniowy. Technologia jest powszechna na całym świecie. Najczęściej używa się pali o średnicy 70-150 mm o długości 10-30 m.



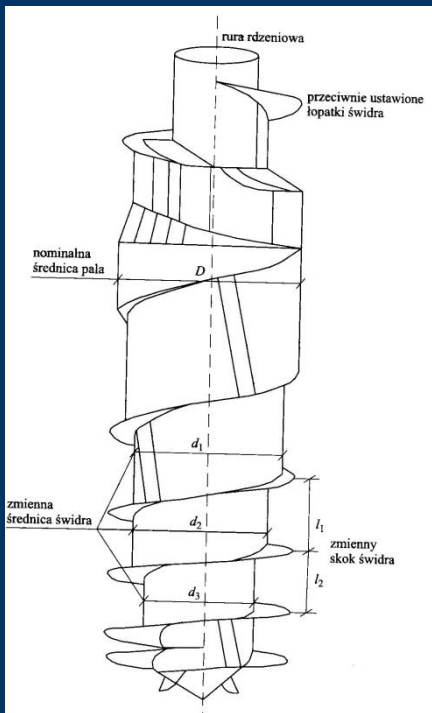
Etapy wykonania pali CFA [3]



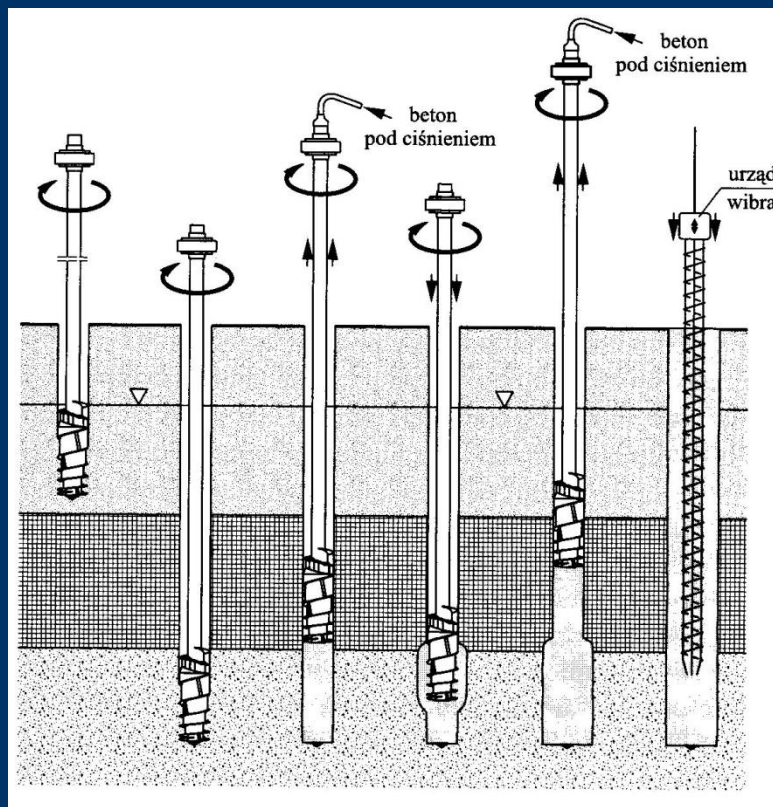
Rysunek pala CFA ze zbrojeniem spiralnym

Pale wiercone {4b}. Omega

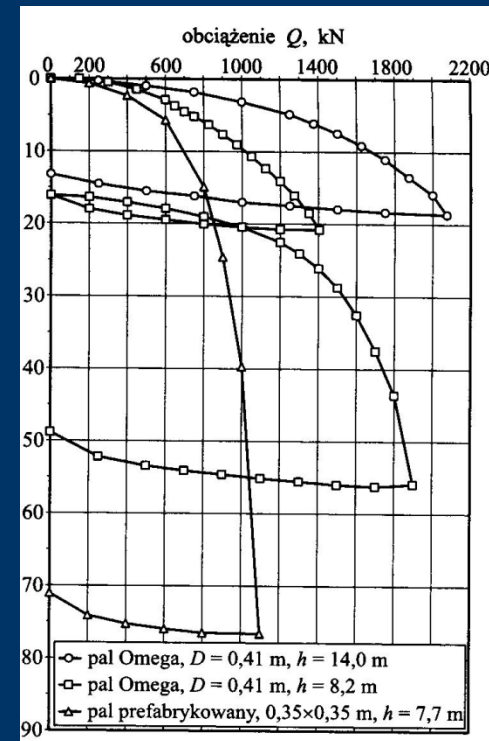
Pale Omega są palami przemieszczeniowymi (tzn przemieszczają , ubijają grunt) , wierconymi o specjalnej konstrukcji świdra



Świder do pali Omega [3]



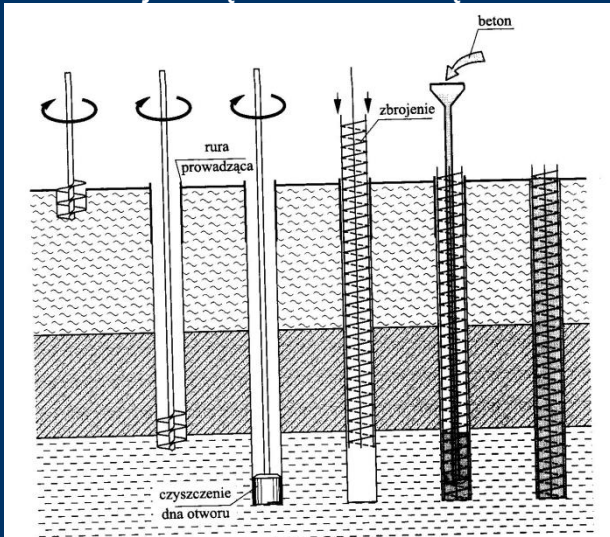
Technologia wykonania pali CGA Omega [3]



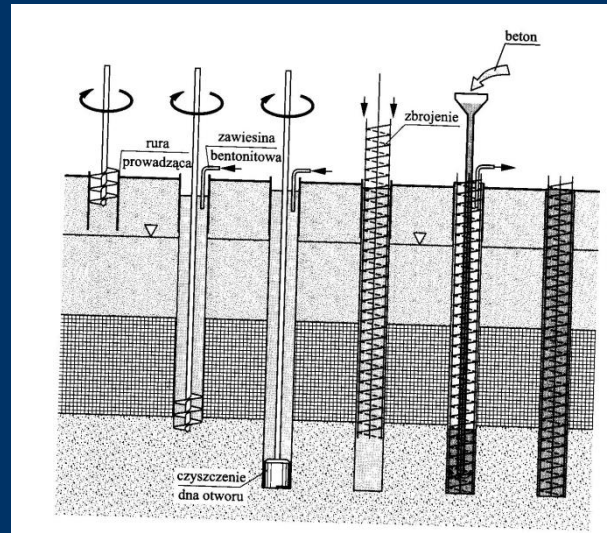
Porównanie osiadania pali Omega i żelbetowego pala prefabrykowanego. Charakterystyka pali Omega jest korzystniejsza od pali wciskanych [3]

Pale wiercone {5}. Pale wielkośrednicowe

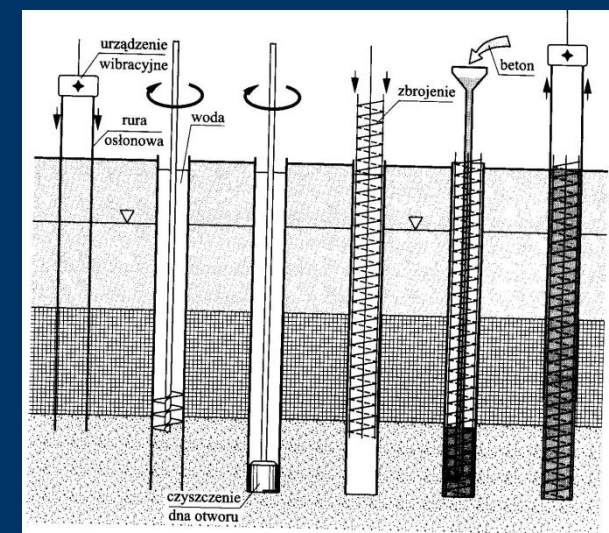
Pale wiercone wielkośrednicowe wykonuje się o średnicy 1,6 do 3 m o długości 10 do 40 m (można do 90 m). Pale mogą być pionowe lub nachylone do nachylenia 7:1. W zależności od warunków gruntowych stosuje się różne rozwiązania technologiczne, jak pokazano niżej:



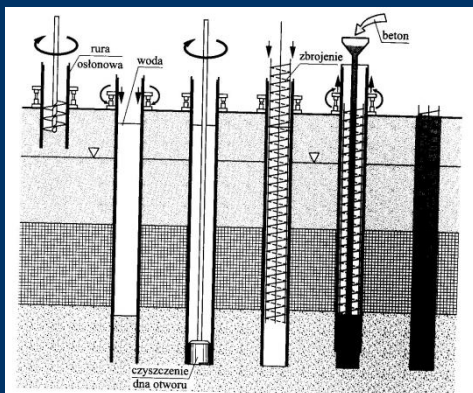
Bez rury osłonowej [3]



W zawieszinie bentonitowej [3]



W rurze osłonowej wibrowanej [3]



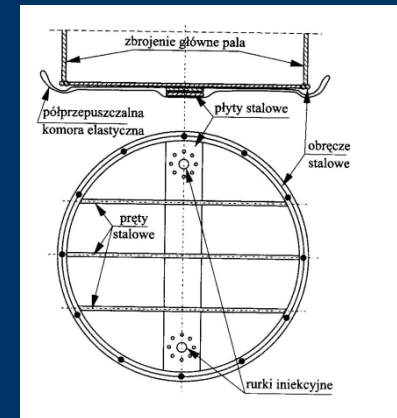
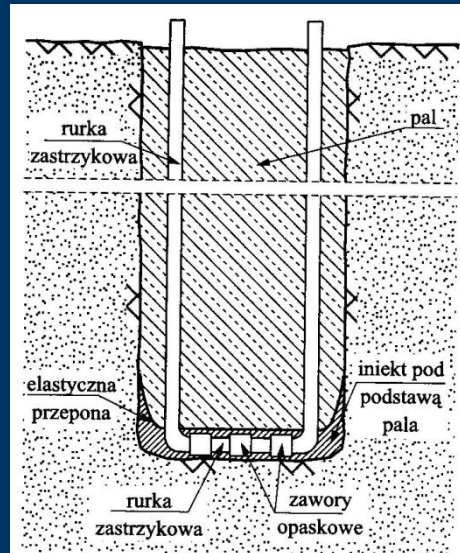
W rurze osłonowej [3]

Pale wiercone {6}. Pale z iniekcją pod podstawą i na pobocznicach

Pale wiercone z iniekcją Wykonywanie pali z wydobywaniem gruntu zawsze jest związane z rozluźnieniem gruntu, co jest bardzo niekorzystne. W celu zniwelowania tego efektu wykonuje się iniekcję (wstrzyknięcie) pod podstawą lub/i na pobocznicach zaczynu cementowego.

Pale z iniekcją pod podstawą

Konstrukcja podstawy pala , przystosowanego do iniekcji [3] →



Komora iniekcyjna pod podstawą [3] →

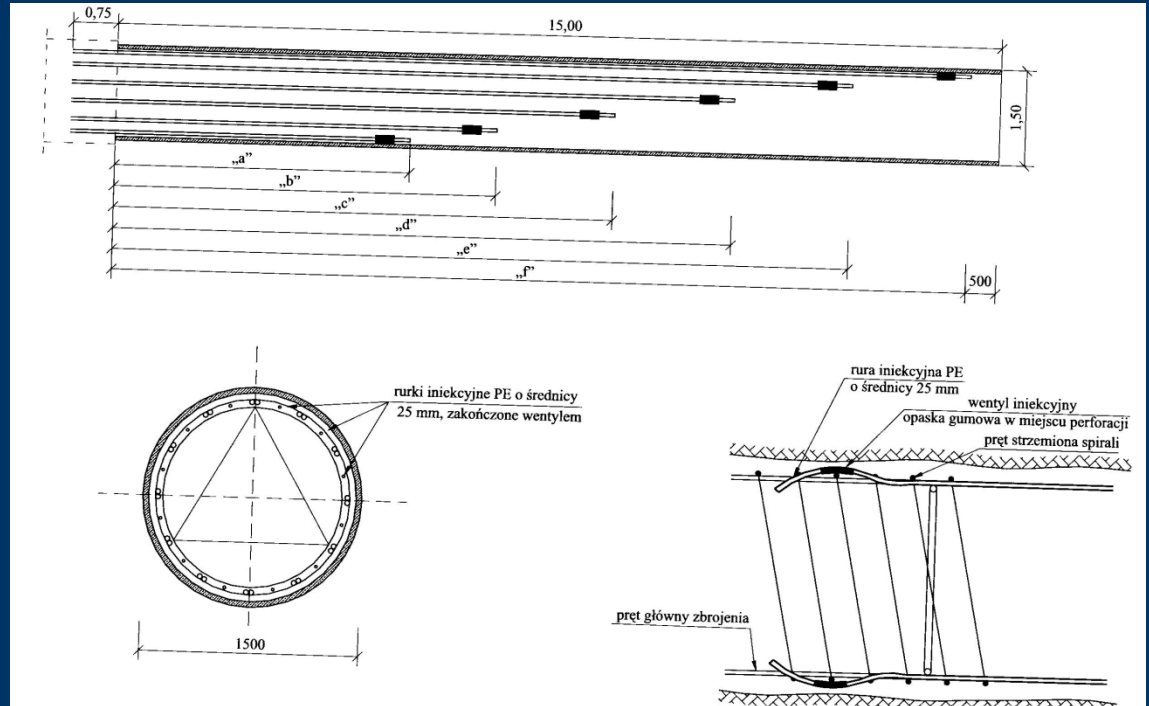


Pale wiercone {6b}. Iniekcja na poboczniczy

Pale z iniekcją na poboczniczy Iniekcję na poboczniczy wykonuje się obecnie w zasadzie dla wszystkich pali wierconych, ale również dla żelbetowych pali wbijanych i dla pali stalowych (z rozbudowaną pobocznicą)



Rurki iniecyjne w koszu zbrojeniowym poboczniczy



Mechanizm iniekcji na poboczniczy. Do kosza wbudowane są rurki iniecyjne o średnicy 25 mm. Poprzez wentyle w rurkach podawany jest zaczyn cementowy

Pale {5}. Kolumny DSM

Kolumny (pale) DSM

W celu wzmocnienia słabego podłoża pod fundamenty bezpośrednio budynków stosujemy metodę kolumn cementowo-gruntowych. Polega ona na formowaniu kolumn o średnicy 600 lub 800 mm, powstałych przez zmieszanie gruntu z cementem. W tym celu w podłożu umieszczane jest mieszadło z rdzeniem rurowym, w który następnie włączany jest zaczyn cementowy, cementowo-popiołowy lub bentonitowy. Technologia kolumn DSM to szybki i ekonomiczny sposób, stosowany w gruntach pylastych i piaszczystych o niewystarczającej nośności.

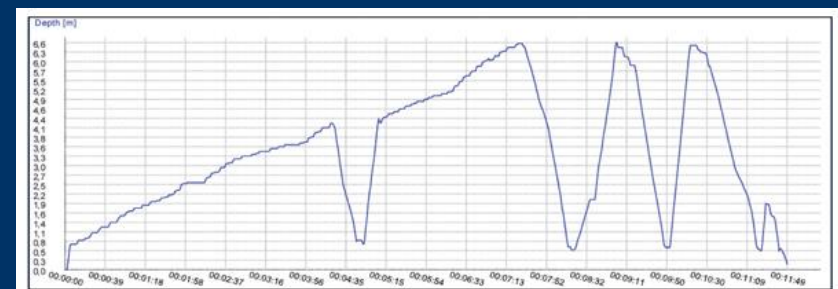


Przykładowe mieszadło DSM



Wykonywanie kolumny DSM

Przykładowa metryka, pokazująca kolejne zagłębienia mieszadła w procesie „bełtania” gruntu. →



Pale {6}. Mikropale

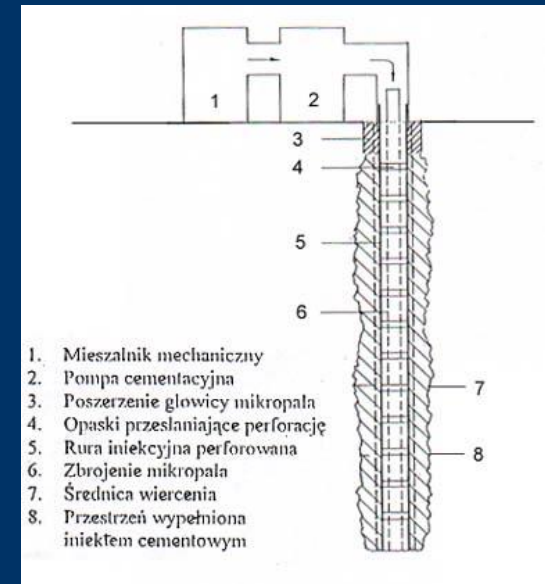
Mikropale

Dzięki zastosowaniu mikropali możemy skutecznie wzmocnić podłoże pod fundamentami budowli, które już istnieją lub dopiero są w fazie projektowania. Przekiętna średnica mikropali wynosi od 42 mm do 150 mm, co umożliwia przeniesienie obciążeń głębiej, w dalsze warstwy gruntu. Dokładna konstrukcja mikropala uzależniona jest od tego, jaką funkcję ma pełnić, a dzięki wielorakim rodzajom zbrojenia bez trudu możemy dokonać optymalnego wyboru. Koszt wykonania tego elementu są dosyć zróżnicowane, ze względu na różnorodne warunki miejscowe i geologiczne, a także różną zawartość stali.

Mikropale mogą być rozmaitej konstrukcji: drewniane, gruncocementowe, iniekcyjne „jet grounding”, iniekcjnesystemowe, inektowane, prefabrykowane żelbetowe, stalowe, wiercone itd.



Mikropale wiercone [www.hydrogea.pl]



Technologia wykonania mikropali wierconych

