

## 1 Pale rurowe RR dużych średnic

### 1.1 Specyfikacja, wymiary, dostępne gatunki stali

Pale RR dużych średnic są wykonane z rur spiralnie spawanych. Możliwa jest produkcja elementów o długości do 39 metrów. Pale są zazwyczaj zamawiane na wymaganą długość pod konkretny projekt. Jako produkty magazynowe, produkowane są wymiary jak w tabeli nr 1.

Tabela 1. Pale RR dostępne z magazynów (L = 12 m)

Wymiary Średnica x grubość ścianki (mm)	Gatunek stali
406×12.5	S440J2H (S355J2H)
508×12.5	S440J2H (S355J2H)
610×12.5	S355J2H
711×12.5	S355J2H
813×12.5	S355J2H

Najczęściej pale RR dużych średnic produkowane są w gatunkach stali S355J2H, S440J2H oraz S550J2H. Na specjalne zamówienie pale mogą być również dostarczone w gatunkach MH zgodnie z normą EN10219 oraz gatunkach X zgodnie z normą API5L. Standardowe wymiary i gatunki podano w tabeli 6. Średnice zalecane do projektowania to RR400, RR500, RR600, RR700, RR800, RR900, RR1000 i RR1200. W przypadku pali stojących zalecana minimalna grubość ściany umożliwiająca łatwą instalację to 10 mm dla pali RR400 do RR800 i 12,5 mm dla pali od RR900 do RR1200.

Oprócz standardowych wymiarów przedstawionych w tabeli 2, pale RR mogą być wykonane w innych średnicach i grubościach ścianki zgodnie ze specyfikacją klienta w odstępach 0,1 mm. Wybór grubości ścianek i gatunków stali umożliwi optymalizację konstrukcji. Odstępstwa od wymiarów standardowych są możliwe przy większych projektach. Optymalizacje są szczególnie efektywne w przypadku ścian kombinowanych i palisad z pali RD ale również w wypadku projektów pali stojących.

Tabela 2. Standardowe wymiary i dostępne gatunki stali dla pali RR dużych średnic.

Typ pala	Średnica [mm]	Grubość ścianki [mm]						
Pile	Diameter [mm]	Wall thickness [mm]						
		8	10	12.5	14.2	16	18	20
RR400	406.4							
RR450	457.0							
RR500	508.0							
RR550	559.0							
RR600	610.0							
RR650	660.0							
RR700	711.0							
RR750	762.0							
RR800	813.0							
RR900	914.0							
RR1000	1016.0							
RR1200	1220.0							

Steel grades S440J2H, S550J2H and S355J2H  
 Steel grades S440J2H and S355J2H

Gatunek stali S440J2H, S550J2H i S355J2H  
 Gatunek stali S440J2H i S355J2H

Poszczególne pale Ruukki RR dużych średnic są identyfikowane dzięki oznakowaniu na ścianie bocznej. Partie pali są dostarczane wraz z oznakowaniem, które poza nazwą producenta określa również średnicę i gatunek stali.

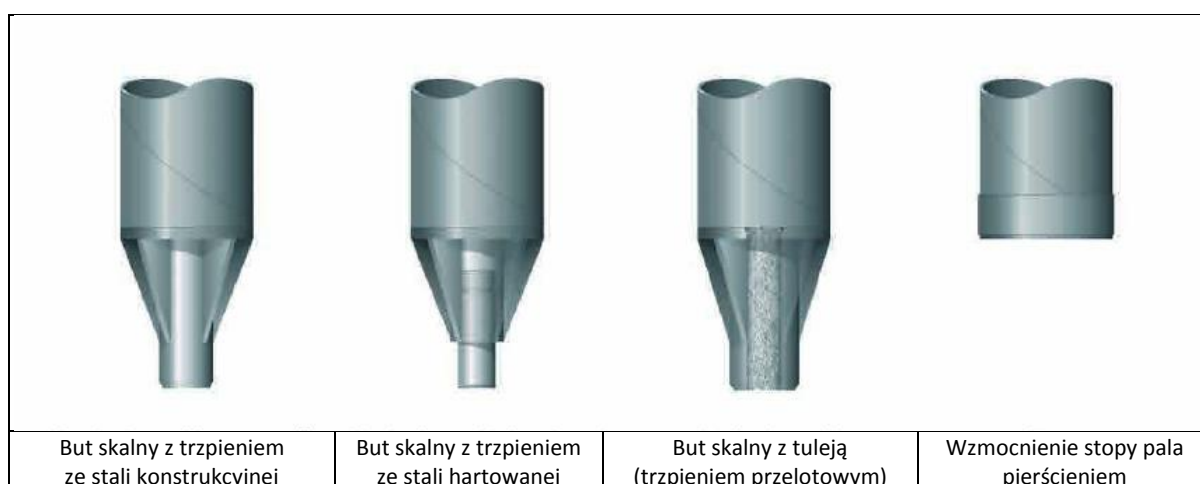
## 1.2 Buty stalowe

W warunkach gruntowych typowych dla krajów skandynawskich, pale RR dodatkowo wyposażone są w buty do instalacji w skale. Standardowe buty skalne SSAB mają dopuszczenie Fińskiej Agencji Transportu nr 565/090/201, 04 październik 2011 i są oznaczone znakiem CE. Buty stosuje się w celu ochrony dolnego końca pala przed uszkodzeniem w trakcie pogrążania, możliwie równomiernego rozłożenia obciążeń z wierzchołka pala po całym jego przekroju, oraz w celu zapobiegania bocznemu przesuwaniu się pali.

Występują trzy typy butów skalnych RR (Rys. 1, 1a). Najpopularniejsze posiadają trzpień ze stali konstrukcyjnej lub hartowanej. Ruukki dostarcza również buty skalne wyposażone w tuleję, która umożliwia wiercenie, na przykład żerdzią, która jest naprowadzana do podłoża skalnego przez beton, którym wypełniono tuleję buta..

Buty z trzpieniem ze stali konstrukcyjnej są używane w warunkach, w których docelowa głębokość pogrążania znajduje się w warstwach gruntów niespoistych lub morenowych albo w warunkach, w których podłoże skalne jest stosunkowo równe a na powierzchni skały zalegają mocne grunty spoiste. Buty z trzpieniem ze stali konstrukcyjnej ułatwiają pogrążanie do powierzchni podłoża skalnego i bezpośrednio w nim.

Ostrza z trzpieniem ze stali hartowanej są używane w warunkach, w których powierzchnia podłoża jest nachylona lub na powierzchni podłoża skalnego nie ma silnej warstwy gruntów niespoistych lub morenowych, lub warstwy gruntowe mają niewielką miąższość a stopa pala ma być doprowadzona do powierzchni skały. Buty z trzpieniem ze stali hartowanej zapobiegają bocznemu poślizgowi stopy pala w większości warunków montażowych.



Rys.1. Typy butów dla pali RR dużych średnic.

Buty skalne z tuleją mogą być stosowane w warunkach, w których należy zapewnić stabilne usytuowanie stopy pala na pozycji - przez wwiercenie żerdzi iniekcyjnej poprzez tuleję, w warstwę skały. Typowym zastosowaniem jest konstrukcja ściany kombinowanej w projekcie nabrzeża, gdzie

poziom pogrążania pali jest bliski poziomowi dna zbiornika i pale są przedmiotem znacznych obciążeń poziomych. W tym przypadku żerdzie do skał są wiercone poprzez tuleję buta zapewniając stabilność konstrukcji oporowej. Buty skalne z tuleją są również używane w miejscach, gdzie pale podlegają siłom wyciągającym. W tym przypadku poprzez tuleję można zainstalować kotwy pracujące na wyciąganie.

W warunkach, gdzie nie ma zbyt wielu kamieni i gdzie końcówka pala spoczywa na warstwach gruntu, stopa pala może być chroniona wzmocnioną płytą dolną. Zalecanym rozwiązaniem jest jednak w takich warunkach zastosowanie butów z trzpieniem ze stali konstrukcyjnej.

Pale z otwartymi końcami są często wyposażone w tak zwane pierścienie wzmacniające dolne części pala. Pierścień wzmacniający to zwykle opaska stalowa o szerokości 150 do 500 mm przyspawana do dolnej części pala. Grubość opaski wynosi zazwyczaj 10, 15 lub 20 mm.

Zarówno pierścienie wzmacniające, jak i dolne płyty ochronne wykonywane są według indywidualnych wymagań projektowych klienta.

Przed procesem przyspawania do pali buty skalne są podgrzewane, a montaż jest wykonywany przez automaty spawalnicze. Ostrza są numerowane w celu zapewnienia możliwości śledzenia procesu produkcji i poszczególnych komponentów .

Wytrzymałości obliczeniowe standardowych butów skalnych dla pali RR dużych średnic przedstawiono w tabeli 3. Najważniejszym kryterium dla butów skalnych są wpędy końcowe i / lub dynamiczne testy nośności. Wszystkie indywidualnie wykonane buty skalne o odmiennych parametrach są poddane analizie numerycznej zgodnie z wymaganiami numerowane są zgodnie z wymaganiami Fińskiej Agencji Transportu.

Na etapie projektowania, maksymalna odporność na uderzenia każdego pala powinna być ograniczona do jego wartości  $R_d, L$ .



Rys.1a. But skalny ze stali konstrukcyjnej.

Tabela 3.

Wartości obliczeniowe wytrzymałości konstrukcyjnej buta skalnego dla stanu granicznego nośności dla osiowego obciążenia pionowego na etapie instalacji (uderzenia i pomiaru PDA).

Typ buta Typ pala	Trzpień ze stali konstrukcyjnej $R_{d,L}$ [kN]	Trzpień ze stali hartowanej $R_{d,L}$ [kN]	Tuleja $R_{d,L}$ [kN]
RR400	5033	4982	
RR450	6057	6032	
RR500	7672	7545	
RR550	7994	7940	
RR600	9677	9681	9285
RR650	10084	10062	
RR700	11993	11650	11370
RR750	12387	12342	
RR800	12653	12610	12188
RR900	14910	14887	14512
RR1000	18751	15691	18371
RR1200	19317	19260	

Tabela 4.

Przekrojowe parametry pali RR dużych średnic i właściwości przekroju z uwzględnieniem ubytku korozyjnego 1,2 mm i 2,0 mm.

A = Powierzchnia przekroju $A_u$ = Powierzchnia poboczniczy $A_b$ = Powierzchnia podstawy pala		I = Moment bezwładności $W_{el}$ = Wskaźnik sprężystości		Właściwości przekroju pala z uwzględnieniem ubytku korozyjnego 1,2 mm lub 2,0 mm									
D	t	M	A	$A_u$	$A_b$	$W_{el}$	I	EI	$A_{1,2}$	$A_{2,0}$	$EI_{1,2}$	$EI_{2,0}$	
[mm]	[mm]	[kg/m]	[mm <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> /m]	[mm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[kNm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[kNm <sup>2</sup> ]	[kNm <sup>2</sup> ]	
406.4	8	78.6	10013	1.28	129717	978	19873.9	41735	8485	7472	35151	30827	
406.4	10	97.8	12453	1.28	129717	1204.5	24475.8	51399	10926	9912	44815	40491	
406.4	12.5	121.4	15468	1.28	129717	1477.9	30030.7	63064	13941	12927	56481	52156	
457	8	88.6	11284	1.44	164030	1244.9	28446.4	59737	9566	8426	50366	44201	
457	10	110.2	14043	1.44	164030	1535.7	35091.3	73692	12325	11184	64321	58155	
457	12.5	137	17455	1.44	164030	1888.2	43144.8	90604	15737	14597	81233	75068	
508	8	98.6	12566	1.6	202683	1546.5	39280	82488	10656	9387	69606	61120	
508	10	122.8	15645	1.6	202683	1910.2	48520.2	101893	13735	12466	89011	80524	
508	12.5	152.7	19458	1.6	202683	2352.6	59755.4	125486	17548	16279	112605	104118	
508	14.2	172.9	22029	1.6	202683	2645.6	67198.6	141117	20118	18849	128235	119749	
559	10	135.4	17247	1.76	245422	2325.6	65001.1	136502	15144	13748	119327	108000	
559	12.5	168.5	21460	1.76	245422	2868	80161.8	168340	19358	17961	151165	139837	
559	14.2	190.8	24303	1.76	245422	3228.3	90230.7	189485	22201	20804	172309	160982	
610	8	118.8	15130	1.92	292247	2247.6	68551.4	143958	12835	11310	121628	106888	
610	10	148	18850	1.92	292247	2781.9	84846.6	178178	16554	15029	155848	141108	
610	12.5	184.2	23464	1.92	292247	3434.6	104754.7	219985	21169	19644	197655	182915	
610	14.2	208.6	26579	1.92	292247	3869	118003.9	247808	24284	22759	225478	210738	
610	16	234.4	29858	1.92	292247	4320.7	131781.4	276741	27563	26038	254411	239671	
610	18	262.8	33477	1.92	292247	4812.8	146790.8	308261	31182	29657	285931	271190	
660	10	160.3	20420	2.07	342119	3268.8	107870.5	226528	17937	16286	198232	179540	
660	12.5	199.6	25427	2.07	342119	4039.6	133306.4	279943	22944	21293	251648	232955	
660	14.2	226.1	28809	2.07	342119	4553.4	150263.1	315552	26326	24675	287257	268564	
660	16	254.1	32370	2.07	342119	5088.5	167921.2	352634	29887	28237	324339	305646	

711	8	138.7	17668	2.23	397035	3070.7	109162.2	229241	14992	13214	193851	170458
711	10	172.9	22023	2.23	397035	3805.9	135301.4	284133	19347	17568	248744	225350
711	12.5	215.3	27430	2.23	397035	4707.3	167343.2	351421	24754	22975	316032	292638
711	14.2	244	31085	2.23	397035	5309	188735.2	396344	28409	26630	360955	337561
711	16	274.2	34935	2.23	397035	5936.4	211039.8	443184	32259	30480	407794	384401
711	18	307.6	39188	2.23	397035	6621.9	235410	494361	36512	34733	458972	435578
711	20	340.8	43417	2.23	397035	7295.4	259350.9	544637	40741	38962	509248	485854
762	10	185.4	23624	2.39	456037	4383.9	167028.4	350760	20757	18850	307181	278357
762	12.5	231	29432	2.39	456037	5426	206731	434135	26565	24658	390557	361733
762	14.2	261.9	33359	2.39	456037	6122.6	233271.2	489870	30492	28585	446291	417467
762	16	294.4	37497	2.39	456037	6849.7	260973.3	548044	34630	32723	504465	475642
813	8	158.8	20232	2.55	519124	4032	163900.5	344191	17171	15136	291248	256213
813	10	198	25227	2.55	519124	5002.8	203363.9	427064	22167	20131	374121	339086
813	12.5	246.8	31436	2.55	519124	6195.8	251860.3	528907	28375	26340	475964	440929
813	14.2	279.7	35635	2.55	519124	6994.2	284314.9	597061	32575	30539	544118	509083
813	16	314.5	40062	2.55	519124	7828.3	318221.7	668266	37001	34966	615323	580288
813	18	352.9	44956	2.55	519124	8741.7	355350	746235	41896	39861	693292	658257
813	20	391.1	49826	2.55	519124	9641.1	391909.3	823010	46765	44730	770067	735032
914	8	178.7	22770	2.87	656118	5112.7	233651.4	490668	19329	17040	415404	365557
914	10	222.9	28400	2.87	656118	6349	290147.2	609309	24959	22670	534045	484198
914	12.5	277.9	35402	2.87	656118	7871.1	359708.4	755388	31961	29672	680124	630277
914	14.2	315.1	40141	2.87	656118	8891.6	406344.5	853323	36699	34410	778059	728212
914	16	354.3	45138	2.87	656118	9959.3	455141.8	955798	41697	39408	880534	830687
914	18	397.7	50668	2.87	656118	11130.5	508664.8	1068196	47226	44937	992932	943085
914	20	440.9	56172	2.87	656118	12285.8	561461.2	1179068	52731	50441	1103804	1053957
1016	8	198.9	25334	3.19	810732	6334.2	321779.8	675738	21508	18963	572318	503779
1016	10	248.1	31604	3.19	810732	7871.1	399849.7	839684	27779	25233	736265	667725
1016	12.5	309.3	39407	3.19	810732	9766.2	496123.1	1041858	35582	33036	938439	869899
1016	14.2	350.8	44691	3.19	810732	11038.6	560762	1177600	40865	38320	1074181	1005641
1016	16	394.6	50265	3.19	810732	12371.6	628479.4	1319807	46440	43894	1216387	1147848
1016	16	394.6	50265	3.19	810732	12371.6	628479.4	1319807	46440	43894	1216387	1147848
1016	18	443	56436	3.19	810732	13835.7	702854.2	1475994	52610	50064	1372574	1304035
1016	20	491.3	62581	3.19	810732	15282	776323.9	1630280	58755	56209	1526861	1458321
1220	8	239.1	30461	3.83	1168987	9169.5	559341	1174616	25866	22808	995449	876591
1220	10	298.4	38013	3.83	1168987	11405.5	695737.9	1461050	33419	30360	1281883	1163025
1220	12.5	372.2	47418	3.83	1168987	14169.3	864326.6	1815086	42824	39765	1635919	1517061
1220	14.2	422.3	53791	3.83	1168987	16028.9	977764.6	2053306	49197	46139	1874139	1755281
1220	16	475.1	60520	3.83	1168987	17980.7	1096822	2303325	55925	52867	2124158	2005301

## 2. Projekt konstrukcyjny i geotechniczny stalowych pali rurowych dużych średnic

### 2.1 Stany graniczne fundamentów palowych

W projekcie fundamentów palowych powinno się uwzględnić stany graniczne określone w PO-2011, rozdział 4.1, biorąc jednocześnie pod uwagę specyfikę terenu budowy.

### 2.2 Proces projektowania fundamentów z pali stalowych

W przypadku standardowych budów, gdzie pale poddane są głównie obciążeniom osiowym, projekt fundamentu z pali stalowych obejmuje:

#### 1) Wybór typu pala odpowiedniego dla terenu budowy:

- warunki gruntowe; możliwości wbicia / instalacji pali oraz funkcjonowania fundamentu palowego
- obciążenia z konstrukcji naziemnej oraz oddziaływania spowodowane przemieszczaniem gruntu
- konstrukcje i warunki w obszarze palowania i jego otoczeniu

2) Wybór klasy palowania w oparciu o klasę geotechniczną (GL1 do 3) i klasę konsekwencji zniszczenia (CC1 do CC3)

3) Określenie nośności geotechnicznej pali  $R_{d,geo}$  zgodnie z rozdziałem 2.5

- badania dynamiczne nośności pali RR,
- sztywność konstrukcji (sztywna czy podatna)

4) Określenie wartości obliczeniowej  $R_{d,str}$  wytrzymałości konstrukcyjnej pali zgodnie z rozdziałem 2.7

- określenie nadatku korozyjnego
- Tabela 3 - pale standardowe, RR400 do RR1220,
- program Ruukki do wymiarowania pali RR (<http://software.ruukki.com>),
- określenie kryterium wępu pala (rozdział 11) określone dla pali wbijanych w celu zapewnienia utrzymania naprężeń wbijania zgodnych z określonymi limitami.
- wytrzymałość konstrukcyjna butów skalnych dla pali od RR400 do RR1200 (Tabela 3) może określać maksymalne oddziaływanie oraz wytrzymałość konstrukcyjną

5) Określenie obliczeniowych wartości wytrzymałości pala na przyłożone siły

- Obliczeniowa wytrzymałość  $R_d$  jest mniejszą spośród wartości: nośności geotechnicznej  $R_{d,geo}$  i wytrzymałości konstrukcyjnej  $R_{d,str}$

6) Obliczenie przemieszczeń fundamentu palowego, w razie potrzeby (rozdział 5.8)

- osiadania pojedynczych pali oraz przemieszczenia grup pali

7) Ocena i przygotowanie działań pod kątem oddziaływania palowania na środowisko

- ocena wibracji, przemieszczeń gruntu, wzrost ciśnienia porowego oraz zagęszczenie gruntu rodzimego spowodowane palowaniem
- przygotowanie działań pod kątem wpływu na środowisko
  - wybór typu pali
  - kolejność palowania
  - pomiary monitorujące
  - środki specjalne

8) Projekt konstrukcyjny fundamentu palowego

- Fundamenty palowe są projektowane zawsze razem z konstrukcjami, które mają być na nich posadowione, co pozwala dobrać najbardziej odpowiedni kształt, wymiary oraz sztywność całej konstrukcji. Kwestie, które należy rozważyć w projekcie konstrukcyjnym fundamentu palowego obejmują:
  - złącza między palami a konstrukcją naziemną
  - określenie tolerancji w planie i w pionie na podstawie typu pali, warunków gruntowych i konstrukcji naziemnej
  - wyniesienie fundamentu palowego
  - odstęp między osiami pali
  - nachylenie pali
  - odległość pali od pobliskich konstrukcji
  - odległość krawędzi fundamentu od lica pala
  - pozostałe aspekty konstrukcyjne do rozważenia

9) Wydruki dokumentacji konstrukcyjnej fundamentów

- Specyfikacja budowlana (harmonogram robót)
  - warunki gruntowe
  - roboty geotechniczne

- etapy robót poprzedzające palowanie oraz działania wpływające na etapy robót, platformy robocze, wykopy, itp.
- wymagania szczególne dla danej budowy związane z palowaniem takie jak wytyczne do instalacji, kolejność palowania, kontrola jakości, środki specjalne.
- konstrukcje fundamentów
- Rysunki fundamentów palowych
- Kalkulacje geotechniczne i wymiarowania konstrukcyjnego
  - z reguły wymiarowanie konstrukcji obciążanego osiowo pala może być łatwo wykonane i wydrukowane przy użyciu programu Ruukki do wymiarowania pali RR i RD
- Rysunek powykonawczy

### 2.3 Obciążenia i sytuacje obliczeniowe

Zestawienie obciążeń musi być zgodne z określonym w normie EN1991 oraz odpowiednimi załącznikami krajowymi. Oddziaływania wywołane przemieszczaniem gruntu, takie, jak tarcie negatywne są traktowane w procesie wymiarowania jako regularne oddziaływania na pale (więcej szczegółów – rozdział 2.9)

### 2.4 Badania geotechniczne

Badania geotechniczne dotycząca projektowania pali stalowych regulowane są ogólnie przepisami Fińskiego Kodeksu Budowlanego oraz normami Eurocode EN 1997-1 i EN 1997-2.

Badania geotechniczne należy przeprowadzić z uwzględnieniem odpowiednio kompleksowego badania pobliskich konstrukcji (kanały, rury, kable, konstrukcje podziemne, itp.), ich lokalizacji i stanu, rodzaju fundamentów, jak również wrażliwości na przemieszczenia i wibracje.

Raport z badań gruntu powinien zawierać następujące kwestie, najważniejsze dla projektowania i wymiarowania pali stalowych:

- wartości charakterystyczne wytrzymałości gruntu na ścinanie w warunkach bez odpływu - wg warstw gruntu, w razie potrzeby, i/lub na terenie budowy podzielonym na różne strefy, jeśli jest to duży teren i/lub ww. wytrzymałość różni się znacząco
- naddatek korozyjny wykorzystywany w wymiarowaniu
- szacowaną długość pala oraz podstawę oszacowania
- szacowane warunki gruntu rodzimego wpływające na palowanie takie, jak jakość, kamienistość oraz miąższość nasypów, zagęszczenie/kamienistość warstw pośrednich, zagęszczenie i kamienistość moreny, nachylenie powierzchni podłoża skalnego
- zastosowany typ buta dla zastosowanych pali wbijanych
- oszacowanie wystąpienia tarcia negatywnego pali oraz określenie wartości obliczeniowej tarcia dla różnych wymiarów pali i różnych stref budowy, jeśli zachodzi taka potrzeba.

W zależności od terenu budowy, potrzebne mogą być również:

- sztywność osiowa pala dla analizy przemieszczeń w stanie użytkowania (patrz rozdział 2.8.)
- parametry geotechniczne poszczególnych warstw gruntu dla określenia maksymalnych wartości modułów odkształceń gruntu i oporów bocznych w przypadku pali poddanym obciążeniom poziomym i momentom zginającym.

## 2.5 Metody wymiarowania i analizy odporności geotechnicznej

### 2.5.1 Wybór metody wymiarowania geotechnicznego dla pali stalowych

Geotechniczną nośność pali stalowych na wciskanie można określić na kilka sposobów, w zależności od typu pali, jak pokazano w Tabeli 5.

Tabela 5

Odpowiedniość metod wymiarowania geotechnicznego w zależności od typu pali stalowych.

Metoda wymiarowania Typ pala	Statyczny test nośności	Dynamiczny test nośności	Na podstawie wyników badań gruntowych	Kryterium wępu na podstawie formuły funamicznej	Kryterium na podstawie analizy fali naprężeń	Na podstawie zachowania fundamentów sąsiednich
Pale RR małych średnic / pale stojące / kategoria PTL 1-2	X	XX	X	XX	XXX	X
Pale PP małych średnic / pale stojące / kategoria PTL 3	X	XXX	X	XX	XX	X
Pale PP dużych średnic / pale stojące	-	XXX	X	XX	XX	X
Pale PP małych średnic / pale zawieszane	XX	XXX	XX	XX	XX	X
Pale PP dużych średnic / pale zawieszane	-	XXX	XX	XX	XX	X
Pale CSG-RR – pale zawieszane	XXX	-	XX	-	X	XX
Pale wyciągane	XXX	X	XX	-	-	XX
Pale RD	X	X	XXX*	X	X	X
Pale sprężane	XXX	X	XX	-	X	X

XXX = metoda preferowana  
 XX = właściwa  
 X = możliwa, przydatność należy każdorazowo ocenić indywidualnie  
 - = technicznie niewykonalna lub nieekonomiczna  
 XXX' = wykonalna w przypadku pali RD pod warunkiem, że powierzchnia skały będzie wiarygodnie ustalona lub, że nośność pali RD wynikająca z tarcia na pobocznicę będzie potwierdzona obliczeniowo

### 2.5.2 Sztywność konstrukcji palowej

Sztywność konstrukcji palowej brana jest pod uwagę w projektach budowlanych zgodnie z instrukcjami. Współczynniki korelacji przedstawione w instrukcjach oraz oparte na nich wartości obliczeniowe zakładają, że konstrukcje nie są tzw. konstrukcjami sztywnymi.

### 2.5.3 Wytrzymałości ustalone poprzez analizę fali naprężeń

Określenie kryterium wępu na podstawie analizy fali naprężeń jest metodą preferowaną dla pali wbijanych.

Tabela kryteriów wępu przedstawia oczekiwane graniczne nośności geotechniczne  $R_d$  dla różnych kategorii palowania, obliczeniowe wartości nośności geotechnicznej  $R_d$  korespondujące z nośnością



graniczną i kryteria wpędu określone dla poszczególnych kombinacji typu pala i urządzenia do wbijania pali.

Wartość obliczeniową  $R_d$  otrzymuje się w następujący sposób:

$$R_d = R_{k,geo} / (\xi_5 \times g_t) = R_{k,geo} / (1.47 \times 1.20) = R_{k,geo} / 1.764$$

#### 2.5.4 Nośności określone poprzez testy dynamiczne

Wartości nośności określone poprzez dynamiczne testy nośności są odpowiednie dla pali zawieszonych i stojących w rozmiarach od RR400 do RR1200 we wszystkich klasach palowania. Badania dynamiczne nośności należy zawsze przeprowadzić na budowach, na których wykorzystywane są pale wbijane. W przypadku pali dużych średnic zawsze rekomendowana są dynamiczne testy nośności.

Program SSAB do wymiarowania pali RR i RD oblicza współczynniki korelacji automatycznie na podstawie danych wejściowych.

Wymiarowanie oparte na badaniach dynamicznych nośności można w zasadzie przeprowadzić na dwa różne sposoby:

- 1) Wartość obliczeniowa oporu podłoża gruntowego  $R_d$  dobierana jest na podstawie klasy palowania z Tabeli 22 i używana do obliczenia minimalnych oraz średnich oczekiwanych wyników dynamicznych testów nośności.
- 2) Graniczny opór podłoża gruntowego osiągalny dla danego typu pala w danych warunkach gruntowych budowy jest oceniany z uwzględnieniem maksymalnej dopuszczalnej wytrzymałości na uderzenia pala danej klasy a obliczeniowa wartość wytrzymałości na ściskanie gruntu jest obliczana na podstawie tej oceny oraz dynamicznego testu nośności (pala)

#### 2.5.5 Nośności określone na podstawie formuły wpędów (driving formula)

Formuła wpędów (driving formula) może być stosowana na przykład w sytuacji, kiedy zgodnie z tabelą kryterium wpędów zastosowane urządzenie wbijające nie jest w stanie zmobilizować wystarczającego granicznego oporu podłoża gruntowego i opór podłoża gruntowego zostaje zagwarantowany poprzez zastosowanie innego młota do zbadania nośności bez wykonywania dynamicznego testu nośności.

#### 2.5.6 Nośności określone na podstawie wyników badań gruntowych

Nośność geotechniczna określana jest na podstawie badania gruntu. Zaleca się zastosowanie w projektowaniu tzw. metody alternatywnej, w której używany jest współczynnik modelowy wynoszący odpowiednio  $\geq 1.6$  dla pali stojących i zawieszonych oraz  $\geq 1.95$  dla pali w grupach przy obciążeniu długotrwałym i  $\geq 1.40$  przy obciążeniu krótkotrwałym.

W przypadku pali stalowych parametry pali zawieszonych, zarówno bez, jak i z wypełnieniem mogą być wyznaczane na bazie wyników badań gruntowych ale jest zalecane aby wyznaczać je również przy na podstawie statycznych lub dynamicznych testów nośności. Ta metoda jest również bardzo odpowiednia do obliczania geotechnicznej nośności na wciskanie dla fundamentów palowych lekkich ekranów akustycznych.

Nośność podstawy i pobocznic palą może być szacowana zarówno na podstawie kąta tarcia lub kohezji gruntu, jak i bezpośrednio na podstawie analizy rozchodzenia się fal dźwiękowych.

### 2.5.6.1 Właściwości szczególne oporu geotechnicznego dla pali z otwartym dnem

We wstępnych analizach pali stalowych z dnem otwartym z punktowym pierścieniem wzmacniającym (stalowy kołnierz wokół trzonu pala) nośność na pobocznicę można szacunkowo zmniejszyć o 50% w zagęszczonym drobnoziarnistym gruncie lub warstwie moreny i 25% w gruntach luźnych w stosunku do wartości tabelarycznych lub wzorów na nośność statyczną

Punktowa wytrzymałość rośnie wraz ze wzrostem powierzchni wzmocnienia.

Jeśli nie następuje wypełnienie pala, opory wewnętrzne należy przyjąć jako połowę oporów na pobocznicę przyjmowanych we wstępnych analizach. Jednakże wartość powstała poprzez zsumowanie oporów wewnętrznych i punktowego oporu na powierzchni przekroju pala nie może przekroczyć wartości odnoszących się do oporów dla pala wypełnionego o analogicznych rozmiarach.

## 2.7 Wytrzymałość konstrukcyjna

### 2.7.1 Wytrzymałość pali RR podczas instalacji

Wytrzymałość konstrukcyjna pali wbijanych ( $R_{k,geo,max}$ ) w różnych klasach palowania musi być ograniczona zgodnie z Tabelą 6 (wartości  $R_{k,geo,max}$  w fińskich klasach palowania).

Tabela 6.

Maksymalne charakterystyczne wartości wytrzymałości geotechnicznej dla pali wbijanych oraz maksymalne osiowe siły uderzenia

Maksymalna dopuszczalna osiowa siła uderzenia wywołująca naprężenia w trakcie instalacji* $N_{impact(-)}$	Maksymalne charakterystyczne wartości wytrzymałości $R_{k,geo,max}$
$\leq 0,9 \times f_{yk} \times A_s$	PTL3: $R_{k,geo,max} \leq N_{impact(-)}$ PTL2: $R_{k,geo,max} \leq 0,8 \times N_{impact(-)}$ PTL1: $R_{k,geo,max} \leq 0,6 \times N_{impact(-)}$
*jeżeli naprężenia/siła uderzenia jest mierzona w trakcie wbijania, powyższy poziom naprężeń nie powinien być przekraczany o więcej niż 20% (naprężenia od uderzenia $\leq 1.08 \times f_y$ ) (EN 12699)	

## 2.7.2 Korozja

Średni postęp korozji niezabezpieczonych pali stalowych w normalnych warunkach gruntowych (podziemnych) można przyjąć jako co najmniej 1,2 mm na sto lat w przypadku powierzchni zewnętrznych narażonych na korozję. Korozję powierzchni wewnętrznych pali stalowych z zamkniętym końcem dolnym lub wypełnionych betonem można pominąć.

Postęp korozji zależy od warunków otoczenia. Tabela 7 przedstawia niektóre wskaźnikowe wartości średniej korozji powierzchni pali stalowych w wybranych warunkach. Zalecenia zawarte w tabeli przedstawiono pierwotnie w normie SFS-EN 1993-5.

Tabela 7.

Średnia korozja powierzchni (mm) niezabezpieczonych pali stalowych w gruncie nad i pod poziomem wody.

Warunki użytkowania	5 lat	25 lat	50 lat	75 lat	100 lat
<b>Normalne warunki</b>					
Niezniszczony naturalny grunt (piasek, ił, glina...)	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20
Niezagęszczone, nieagresywne nasypy z gruntu mineralnego (glina, piasek, ił...)	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
<b>Szczególne lub agresywne warunki</b>					
Zanieczyszczone grunty naturalne i grunty na terenach przemysłowych	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
Agresywne naturalne grunty (namuł, marsz, torf...)	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
Niezagęszczone agresywne nasypy (popiół, żużel...)	0,50	2,00	3,25	4,50	5,75
Uwaga: Postęp korozji jest niższy w gruntach zagęszczonych niż w niezagęszczonych nasypach. W przypadku nasypów zagęszczonych, wartości dotyczące nasypów niezagęszczonych należy podzielić przez dwa. Wartości są orientacyjne. Należy wziąć pod uwagę uwarunkowania lokalne. Wartości dla użytkowania przez 5 i 25 lat bazują na pomiarach, pozostałe wartości są ekstrapolacją. Korozja w powietrzu w okresie stu lat: 1mm w normalnym klimacie i 2mm w pobliżu morza.					

Opcjonalnie, postęp korozji pali niewypełnionych betonem może być w niektórych zwykłych warunkach oszacowany na podstawie wartości podanych w Tabeli 20. Tabela opiera się na statystycznym przetworzeniu danych z obserwacji korozji, w których ryzyko związane z warunkami brane jest pod uwagę poprzez wykorzystanie tzw. współczynnika korozji wżerowej oraz możliwej korozji wewnętrznej wg obliczeń teoretycznych.

## 2.7.3 Nośność pala

### 2.7.3.1 Wyznaczenie efektywnej długości

Wytrzymałość konstrukcyjna musi zostać sprawdzona w przypadkach pali wystających powyżej powierzchni gruntu np. dla pirsów lub dalb cumowniczych. W takich przypadkach odcinek powyżej poziomu gruntu musi zostać zaprojektowany jako wolno stojący słup.

Efektywna długość pala ( $L$ ) przyjmowana do wyznaczenia jego współczynnika smukłości jest zależna od typu gruntu przy powierzchni terenu. W przypadku miękkich gruntów "L" powinno być obliczane jako długość pomiędzy punktem podparcia (lub utwierdzenia) a punktem położonym w połowie

miekkiej warstwy lub 3m poniżej poziomu terenu , cokolwiek jest położone niżej. W przypadku, kiedy bezpośrednio pod poziomem terenu występuje mocna warstwa, „L” jest odległością pomiędzy punktem podparcia pała (lub utwierdzenia) a poziomem terenu.

Stąd też, jeśli głowica pała jest utwierdzona na pozycji w rozpatrywanej płaszczyźnie ale nie jest całkowicie usztywniona w kierunku bocznym, to jego efektywna długość jest równa „L”.

Jeśli pał jest całkowicie usztywniony w kierunku bocznym to efektywna długość powinna być przyjmowana jako  $0,75 \times "L"$ .

Dla częściowego utwierdzenia, efektywna długość powinna być przyjmowana jako  $1,5 \times "L"$ .

W przypadku, gdy wierzch pała nie jest utwierdzony na pozycji ani usztywniony w kierunku bocznym w rozpatrywanej płaszczyźnie, to jego efektywna długość jest równa  $2 \times "L"$

Bardzo miękkie warstwy , takie, jak płynne namuły należy na potrzeby projektu traktować, jak wodę.

### 2.7.3.2 Nośność pionowa.

Nośność graniczna pała w gruncie może być określana poprzez obliczenia z wykorzystaniem wielu różnych metod.

Prawdopodobnie najbardziej odpowiednią dla pali wbijanych jest metoda oparta na wynikach sondowań CPT (Cone Penetration Test) choć w zagęszczonych żwirach, marglach i innych twardych gruntach jest ona mniej wiarygodna.

Projektant wspomaga się wykorzystując dostępne parametry gruntu, żeby ustalić akceptowalne wartości tarcia na pobocznicę i możliwą do uzyskania nośność podstawy pała.

Poniższa metoda analizy oparta na wynikach sondowań SPT jest używana od wielu lat.

#### Grunty niespoiste (Metoda SPT Meyerhofa)

Nośność graniczna podstawy pała w gruntach niespoistych wynika z wartości SPT uzyskanych w badawczych otworach wiertniczych, zgodnie z następującym wzorem:

Nośność graniczna  $Q_{Ult} = Q_s + Q_b$ .

Opór graniczny na pobocznicę  $Q_s = 2N_s A_s$  (kN)

Opór graniczny pod podstawą  $Q_b = 400N_b A_b$  (kN)

gdzie  $N_s$  jest średnim dynamicznym oporem SPT podczas pograżania sondy (il. uderzeń na 300mm),

$A_s$  jest polem powierzchni pobocznicę w kontakcie z gruntem ( $m^2$ ),

$N_b$  jest dynamicznym oporem pod przewidywaną podstawą pała, który wylicza się z następującego wzoru:

$$N_b = 0.5(N_1 + N_2)$$

gdzie  $N_1$  jest najmniejszą z wartości  $N$  uzyskaną dwie średnice pała pod jego podstawą,

$N_2$  jest średnią wartością  $N$  uzyskaną 10 średnic poniżej podstawy pała.

$A_b$  jest polem powierzchni przekroju pała ( $m^2$ ) .

Dla nawodnionych piasków wartość  $N$  należy obniżyć ( $N_{red}$ )F wykorzystując następującą zależność:

$$N_{red} = 15 + 0.5 \times (N - 15) \text{ dla wartości } N \text{ większych niż } 15$$

#### Grunty spoiste.

Nośność graniczna podstawy pala w gruntach spoistych jest funkcją wytrzymałości gruntu na ścinanie w warunkach bez odpływu i pola powierzchni gruntu pod podstawą.

Nośność graniczna  $Q_{ult} = Q_s + Q_b$

Opór graniczny na pobocznicy  $Q_s = \alpha \alpha c_u A_s$  (kN)

Opór graniczny pod podstawą  $Q_b = 9 c_u A_b$  (kN)

Gdzie

$\alpha$  jest wskaźnikiem przyczepności (adhezji) pala na pobocznicy (lub współczynnikiem technologicznym dla wytrzymałości na ścinanie) dla każdej warstwy gruntu,

$c_u$  jest średnią wytrzymałością na ścinanie w warunkach bez odpływu dla rozpatrywanej warstwy.

Przyjmowane wartości  $\alpha$  przy obciążeniu statycznym maleją wraz ze wzrostem spójności (bez odpływu) ale generalnie mieszczą się w przedziale pomiędzy 0,5 a 1,0.

Podczas kalkulacji wartości  $A_s$  i  $A_b$  należy wziąć pod uwagę, iż może się zdarzyć "zatkanie". Jest to sytuacja, w której grunt nie zostaje ścięty na styku pal/grunt ale w oddaleniu od pala i na podstawie pala formuje się bryła gruntu, która zostaje ciągnięta przez pal, dopóki nie zostanie rozbita.

Zaleca się aby pole powierzchni pobocznicy ( $A_s$ ) zostało przyjmowane przy założeniu, że nie nastąpi zjawisko "zatkania" ale należy je w pełni uwzględnić przyjmując pole powierzchni podstawy pala ( $A_b$ ), przy czym należy zastosować współczynnik redukcyjny 0,5 dla gruntów gliniastych i 0,75 dla piasków.

### 2.7.3.3 Nośność pala pod podstawą

W przypadku wystąpienia skały lub innej podobnej warstwy pale stalowe przenoszą obciążenia z konstrukcji jedynie podstawą

Poniższa tablica przedstawia graniczne wytrzymałości osiowe dla najczęściej stosowanych średnic pali stojących w oparciu o granice plastyczności dla pali o poszczególnych grubościach ścianek

Wartości są dobrane do pali posadowionych w następujących gruntach:

1. Skały twarde i półtwarde lub ich odpowiedniki, ekstremalnie drobne lub częściowo scementowane piaski lub żwiry
2. Skały miękkie, drobne piaski i żwiry lub ekstremalnie twarde gliny, orsztyń lub tym podobne grunty.

W drugim przypadku pale pracują łącząc nośność podstawy i pobocznicy w warstwie, w której są posadowione a wymagana głębokość wbicia jest większa niż w pierwszym przypadku, kiedy to głębokość jest uzależniona od twardości skały i stopnia zwietrzenia na powierzchni.

Należy zauważyć, że tradycyjne tabele nośności były oparte na naprężeniach roboczych na poziomie 30% granicy plastyczności stali aby uzyskać współczynnik bezpieczeństwa 2 na nośności i pozostawić pewną dodatkową rezerwę aby zapobiec uszkodzeniom spowodowanym przez naprężenia w trakcie wbijania. W przypadku wbijania pali przez względnie miękką warstwę do skały, mogą być przyjęte naprężenia robocze na poziomie 50% granicy plastyczności stali dając współczynnik bezpieczeństwa 2 dla zakładanej nośności. Dla zestawionych w poniższej tabeli wartości tabeli należy przyjąć odpowiedni współczynnik aby uzyskać porównywalne nośności w poszczególnych sekcjach pala. Wytrzymałość skały, w której posadowiony jest pal przenoszący obciążenia z fundamentu musi zostać wyznaczona poprzez ustalenie wytrzymałości danej warstwy na ściskanie (MPa) na podstawie badań gruntowych

Podstawowy wzór to:

$$F_{c;d} \leq R_{c;d}$$

W zasadzie  $F_{c;d}$  powinno uwzględniać ciężar własny pala a  $R_{c;d}$  powinno uwzględniać ciśnienie od naziomu przy podstawie fundamentu. Jednakże te dwie pozycje mogą zostać pominięte, jeśli mniej więcej się równoważą. Mogą się nie równoważyć, jeśli:

- Tarcie ujemne jest znaczące
- grunt jest bardzo lekki
- pal wystaje ponad powierzchnię gruntu

$$R_{c;d} = R_{b;d} + R_{s;d}$$

$$R_{c;k} = (R_{b;k} + R_{s;k}) = \frac{R_{b;cal} + R_{s;cal}}{\xi} = \frac{R_{c;cal}}{\xi} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c;cal})_{mean}}{\xi_3}; \frac{(R_{c;cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

$$Q_p = Q_b + Q_s - W_p \quad (1)$$

Gdzie  $Q_p$  jest graniczną nośnością pala ,  $Q_b$  jest graniczną nośnością podstawy ,  $Q_s$  jest graniczną wytrzymałością pobocznicy, a  $W_p$  jest ciężarem pala

Zwykle ciężar pala ( $W_p$ ) jest niewielki w porównaniu z nośnością  $Q_p$  i generalnie jest pomijany we wzorze (1). Jednakże  $W_p$  koniecznie należy uwzględnić w przypadkach palowania pod konstrukcje morskie w głębokich zbiornikach wodnych, kiedy znacząca długość pala wystaje powyżej dna morza. Eurokod 7 wyraża wzór (1) w nieco inny sposób.  $Q_p$  jest oznaczone jako  $Q$ , obliczeniowa nośność pala  $Q_b = Q_{bk} / \gamma_b$  jest obliczeniową nośnością podstawy a  $Q_s = Q_{sk} / \gamma_s$  jest obliczeniową nośnością pobocznicy.  $Q_{bk}$  i  $Q_{sk}$  są dalej rozdzielone i zdefiniowane w sposób następujący:

$$Q_{bk} = q_{bk} A_{bk}$$

i

$$Q_{sk} = \sum_{i=1}^n q_{sik} A_{si}$$

gdzie

$A_b$  jest nominalnym polem przekroju podstawy pala

$A_{si}$  jest nominalną powierzchnią pobocznicy pala w warstwie „i”

$q_{bk}$  jest charakterystyczną nośnością podstawy na jednostkę powierzchni

$q_{sik}$  jest charakterystyczną nośnością pobocznicy w warstwie „i” na jednostkę powierzchni

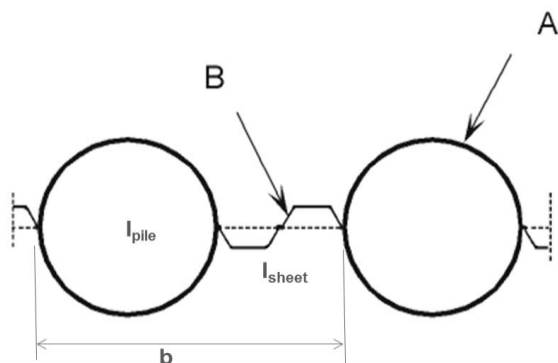
$\gamma_b$  i  $\gamma_s$  są częściowymi współczynnikami bezpieczeństwa,  $\gamma_b$  jest w obecnej wersji Eurokodu podawany jako 1.3, 1.6 i 1.45 odpowiednio dla pali wbijanych, wierconych i CFA a  $\gamma_s$  jest podawany jako 1.3 zarówno dla pali wbijanych, jak i wierconych.

Wielkości charakterystyczne  $q_{bk}$  i  $q_{sik}$  są wzięte z zasad obliczeń opartych na ustalonej korelacji pomiędzy wynikami testów statycznych a wynikami laboratoryjnych lub terenowych badań gruntu.. Kod wymaga aby charakterystyczne wartości  $q_{bk}$  i  $q_{sk}$  nie przekraczały zmierzonych nośności wykorzystywanych do ustalenia korelacji podzielonych średnio o 1,5.

Ten dodatkowy współczynnik jest używany zasadniczo aby móc zaakceptować nieściłości w zastosowanej metodzie i rozbieżności w wartościach, na których bazuje korelacja.

### 3. Ściany kombinowane

Ściany kombinowane (combi-wall) oznaczają ściany oporowe złożone z elementów głównych (konstrukcyjnych) i elementów wypełniających. Elementami głównymi mogą być rury stalowe takie, jak pale RR dużych średnic. Elementy wypełniające to głównie grodzice stalowe różnych typów instalowane w przestrzeni pomiędzy elementami głównymi i połączone z nimi zamkami. Elementy uzupełniające to zwykle grodzice typu U lub Z (Rys.2)



Rysunek 2.

Ściana kombinowana: A - element główne (pale RR), B - element wypełniający (grodzice stalowe).

#### 3.1 Pale nośne.

Wszystkie pale rurowe RR dużych średnic (Tabela 2) mogą być wykorzystane do budowy ściany kombinowanej poprzez dospawanie elementów łączących lub bezpośrednie dołączenie do nich grodzic.

W ściankach kombinowanych pale rurowe są konstrukcją przenoszącą obciążenia, natomiast grodzice zainstalowane pomiędzy palami to elementy wypełniające, łączące ścianę w całość. (Rys. 2).

Wykorzystując wyższe gatunki stali, ściany kombinowane charakteryzują się doskonałą sztywnością i wytrzymałością na zginanie i są stosowane w następujących konstrukcjach:

- Stałe i tymczasowe ściany oporowe
- Nabrzeża i pomosty
- Fundamenty budynków
- Konstrukcje drogowe i kolejowe
- Mosty



Rys. 3. Ściana kombinowana w konstrukcji nabrzeża

Ściany typu "combi" są projektowane zgodnie z EN 1993-5. Pale w ścianach kombinowanych mogą być wymiarowane jako konstrukcje stalowe lub w przypadku pali wypełnianych betonem, jako konstrukcje zespolone stalowo-betonowe. Korozja pali jest brana pod uwagę poprzez odjęcie nadmiaru korozyjnego odpowiadającego okresowi projektowanego życia konstrukcji od grubości ścianek w przekroju poprzecznym.

Projekt elementów głównych i wypełniających powinien wynikać z ich funkcjonalności. Elementy główne – pale RR – są elementami oporowymi przenoszącymi napór gruntu i wody i mogą również służyć jako pale nośne przenoszące siły pionowe. Elementy wypełniające jedynie wypełniają przestrzeń pomiędzy elementami głównymi i przenoszą obciążenia z naporu gruntu i wody na elementy główne.

Żadne siły podłużne lub ścinające nie mogą być brane pod uwagę dla zamków wsuwanych łączących element główne i wypełniające. Grodzice stalowe wykorzystywane jako element wypełniające powinny być wykonane zgodnie z normą EN 10248.

Wytrzymałość poszczególnych pali pod kątem użytkowania I stanu granicznego nośności powinna zostać ustalona z uwzględnieniem równomiernego ubytku grubości na całym obwodzie przekroju poprzecznego. Ubytek grubości spowodowany korozją pali w kontakcie z wodą należy przyjąć zgodnie z Tabelą 8, w zależności od wymaganej projektowanej długości życia konstrukcji. Korozję wewnątrz pali z zamkniętymi końcami lub wypełnionych betonem można pominąć.

Tabela 8. Zalecane wartości ubytków grubości (mm) spowodowane korozją dla pali i grodzic stalowych w wodzie słodkiej lub morskiej (EN 1993-5:2007)

Wymagana projektowana długość życia konstrukcji	5 lat	25 lat	50 lat	75 lat	100 lat
Zwykła słodka woda (rzeka, kanał,...) w strefie nurtu (na linii wodnej)	0.15	0.55	1.15	1.15	1.40
Bardzo zanieczyszczona woda słodka (kanalizacja, ścieki przemysłowe,...) w strefie nurtu (na linii wodnej)	0.30	1.30	2.30	3.30	4.30
Woda morska w klimacie umiarkowanym w strefie silnego napływu (strefa niskiej wody i strefa rozbryzgu)	0.55	1.90	3.75	5.60	7.50
Woda Morska w klimacie umiarkowanym w strefie stałego zanurzenia lub w strefie pływów	0.25	0.90	1.75	2.60	3.50
Notes:					
1) Najwyższy wskaźnik korozji występuje zwykle w strefie rozbryzgu lub w strefie niskiej wody w wodach płynących. Jednakże w większości przypadków największe naprężenia zginające występują w strefie stałego zanurzenia – patrz poz.4-1					
2) Wartości dla 5 i 25 lat bazują na pomiarach, podczas, gdy pozostałe są akstrapolowane.					



Pale nośne stojące można wyposażać w buty skalne (poz. 1, tab. 3). Trzpienie ze stali konstrukcyjnej mają zastosowanie w większości przypadków, otwarte trzpienie są używane, kiedy wymagane jest kotwienie a trzpienie ze stali hartowanej – kiedy może wystąpić poślizg na pochyłej powierzchni skały.

Pale z otwartym dnem można wyposażać w pierścienie wzmacniające.

### 3.2 Wytrzymałość konstrukcyjna ściany kombinowanej

Generalnie główne pale nośne zapewniają sztywność na zginanie i nośność ściany kombinowanej. Sekcja wypełnienia ściany grodzicami może być brana pod uwagę poprzez określenie odpowiedniego współczynnika dla wypełnienia, zgodnie z następującym wzorem. (Poz.2):

$$W_{el,combi} = W_{el,pile} \cdot \frac{1 + \frac{I_{sheet}}{I_{pile}}}{b} \quad (\text{cm}^3/\text{m})$$

Nośność ściany na zginanie oblicza się uwzględniając klasę stali pal nośnego ( $f_y$ ):

$$M_{c,Rd} = W_{el,combi} \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (\text{MNm/m}).$$

Nośność na zginanie pala i całej ściany kombinowanej rośnie wraz ze wzrostem granicy plastyczności. Poprzez użycie stali o wyższej wytrzymałości nośność na zginanie wzrasta następująco:

Przy zamianie ze stali S355 na S440 – wzrost o 24%

Przy zamianie ze stali S440 na S550 – wzrost o 25%

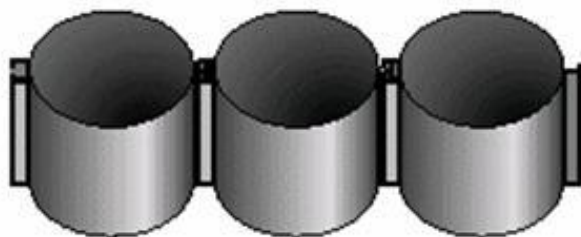
Gatunek stali nie ma wpływu na sztywność zginania  $EI$  i wskaźnik wytrzymałości przekroju  $W$ . Odpowiedni dobór średnicy pali, grubości ścianki, gatunku stali (**wyższe gatunki stali**) i typu wypełniającej ścianki szczelnej możemy osiągnąć znaczące oszczędności na ilości materiału oraz zoptymalizować efektywność ekonomiczną projektu.

### 3.3 Ściany oporowe z pali rurowych

W trudnych warunkach gruntowych, gdzie na ścianę oporową działają zwiększone obciążenia pionowe i zginające możemy zastosować ścianę oporową z pali rurowych (Rys.4) W rozwiązaniu tym główne pale nośne bezpośrednio są połączone ze sobą zamkami bez wykorzystania elementów wypełniających takich jak grodzice. Konstrukcje tego typu charakteryzują się istotną zwiększoną wytrzymałością na obciążenia osiowe oraz gnące.

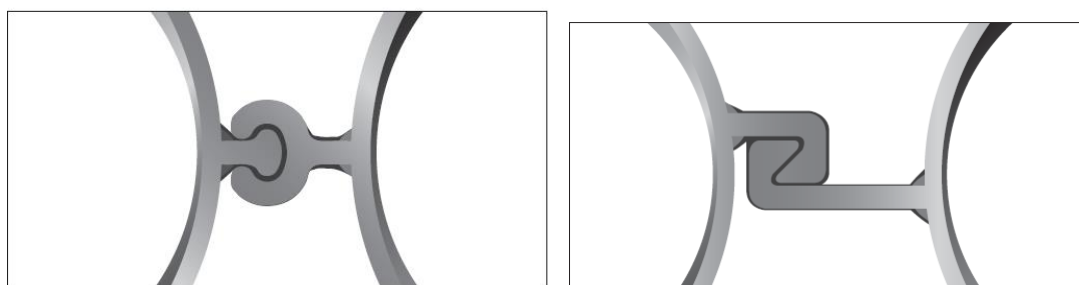
Do połączeń pali możemy wykorzystać dwa typy zamków: zamek E21 najczęściej użyty przy ścianach kombinowanych (Rys 5 a), lub zamek RM-RR charakteryzujący się zwiększoną wartością osiowych sił rozciągających i ściskających (Rys. 5 b, Tabela 9).

Zmieniając umiejscowienie zamków wzdłuż obwodu pali, możemy dowolnie formować kształt ściany oporowej – od zamkniętego kręgu po komory wielokątne o dowolnych kątach zamykających.



Rys. 4

Ściana z pali rurowych z szeregiem głównych pali nośnych bezpośrednio połączonych ze sobą zamkami



Rys. 5a.

Dwa różne rodzaje zamków do połączeń w ścianie z pali rurowych:

- a) połączenie zamkiem RM-RF
- b) połączenie zamkiem E21

### 3.4 Zamki

W konstrukcjach ścian kombinowanych zamki są zazwyczaj przyspawane do pali nośnych. W takim przypadku zaleca się stosowanie zamków typu E21 (Rys. 6). Możliwe jest również przyspawanie grodzic bezpośrednio do pali nośnych (Rys. 7).

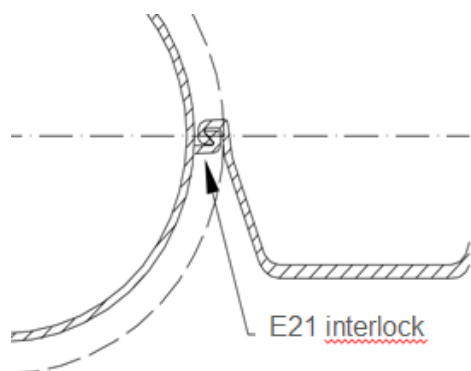


Fig. 6. Połączenie grodzicy z palem nośnym zamkiem E21

Zamki RM-RF mają zwiększoną wytrzymałość na rozciąganie i ściskanie w porównaniu z zamkami E21. Tabela 9 przedstawia charakterystyczne wartości osiowych sił ściskających i rozciągających oraz wytrzymałość na ścinanie zamków E21 i RM -RF określonych na podstawie serii testów laboratoryjnych



Rys.7.  
Grodzice przyspawane bezpośrednio do pali nośnych

Tabela 9  
Wytrzymałość na rozciąganie ( $T_k$ ), ściskanie ( $C_k$ ) oraz ścinanie ( $V_{y,k}$ ) zamków E21 oraz zamków RM-RF.

Typ zamka	Osiowa siła rozciągająca $T_k$ (kN/m)	Osiowa siła ściskająca $C_k$ (kN/m)	Ścinanie prostopadłe do osi zamków $V_{y,k}$ (kN/m)
E21	1202	-	374
RF/RM	1702	4260	790