



# PaleKx 5.0

Instrukcja użytkowania

## ZAWARTOŚĆ INSTRUKCJI UŻYTKOWANIA:

1. WPROWADZENIE .....	3
2. TERMINOLOGIA .....	3
3. PRZEZNACZENIE PROGRAMU .....	3
4. WPROWADZENIE DANYCH – ZAKŁADKA DANE .....	4
5. PARAMETRY FUNDAMENTU PALOWEGO – ZAKŁADKA FUNDAMENT .....	8
6. DEFINIOWANIE ZAKRESU OBLICZEŃ – ZAKŁADKA OBLICZENIA .....	11
7. ZASADY OBLICZANIA SZTYWNOŚCI PALA ORAZ GRANICZNEJ REAKCJI GRUNTU .....	14
7.1. SZTYWNOŚĆ PALA .....	14
7.2. GRANICZNA REAKCJA GRUNTU .....	14
7.3. WSPÓŁCZYNNIK TECHNOLOGII WYKONYWANIA PALA .....	15
8. ZRÓŻNICOWANIE SZTYWNOŚCI PALA I GRANICZNEJ REAKCJI GRUNTU W ZALEŻNOŚCI OD LOKALIZACJI PALA W FUNDAMENCIE .....	16
8.1. PAL ZLOKALIZOWANY W WEWNĘTRZNYM RZĘDZIE I WEWNĘTRZNEJ KOLUMNIE PALI .....	17
8.2. PAL ZLOKALIZOWANY WEWNĄTRZ SKRAJNEGO RZĘDU LUB WEWNĄTRZ SKRAJNEJ KOLUMNY PALI .....	18
8.3. PAL ZLOKALIZOWANY W SKRAJNYM RZĘDZIE I SKRAJNEJ KOLUMNIE PALI .....	19
9. ZASADY OBLICZENIA SIŁ PRZEKROJOWYCH ORAZ PRZEMIESZCZEŃ .....	21
9.1. OBLICZENIA Z UWZGLĘDNIENIEM UPLASTYCZNIENIA GRUNTU .....	21
9.2. OBLICZENIA Z POMINIĘCIEM UPLASTYCZNIENIA GRUNTU .....	21
9.3. OBLICZENIA PRZEMIESZCZENIA PALA .....	22
10. ZASADY WYMIAROWANIA PRZEKROJU PALA .....	23
10.1. WYMIAROWANIE PRZEKROJU PALI ŻELBETOWYCH .....	23
10.2. WYMIAROWANIE PRZEKROJU PALI Z RUR STALOWYCH .....	23
11. WYNIKI OBLICZEŃ – ZAKŁADKA WYNIKI .....	24
12. PREZENTACJA WYNIKÓW OBLICZEŃ .....	26

## 1. WPROWADZENIE

Program forGeo PaleKx wersja 5.0 służy do obliczania sił przekrojowych oraz przemieszczenia wszelkiego rodzaju pali fundamentowych we współpracy z podłożem gruntowym zgodnie z propozycją M. Koseckiego – Statyka ustrojów palowych, Zasady obliczania konstrukcji palowych metodą uogólnioną, Szczecin 2006. Program wyznacza także nośność konstrukcyjną trzonu pala.

## 2. TERMINOLOGIA

W dalszej części opisu przyjęto następujące skróty:

- program – forGeo PaleKx wersja 5.0
- metoda uogólniona – Statyka ustrojów palowych, Zasady obliczania konstrukcji palowych metodą uogólnioną. Kosecki M., Szczecin 2006.
- komentarz do metody – Obliczenia statyczne fundamentów palowych, Seminarium – Zagadnienia posadowień na fundamentach palowych. Krasieński A., Gdańsk 25 czerwca 2004.

## 3. PRZEZNACZENIE PROGRAMU

Program służy do obliczania sił przekrojowych oraz przemieszczenia pali we współpracy z podłożem gruntowym. Obliczenia przeprowadzane są z uwzględnieniem zjawiska **uplastycznienia gruntu** i odwzorowują rzeczywistą współpracę pali fundamentowych z podłożem gruntowym.

Obliczenia wykonywane są zgodnie z metodą uogólnioną M. Koseckiego, komentarzem do metody według A. Krasieńskiego oraz propozycją autora programu J. Kowalskiego.

Program wyznacza wartości poziomych podpór sprężystych rozmieszczonych wzdłuż osi pala oraz odpowiadające im reakcje graniczne gruntu. Analiza uplastycznienia dokonywana jest iteracyjnie poprzez porównywanie wartości reakcji w podporach sprężystych z granicznym odporem gruntu.

Program wyposażono w autorski **schemat fundamentu palowego** umożliwiający wykonywanie obliczeń jednocześnie dla kilku kierunków działania obciążenia poziomego oraz dla różnych rozstawów pali. Schemat fundamentu umożliwia odwzorowanie **rzeczywistego układu pali** w projektowanym fundamencie.

Program wyznacza także nośność konstrukcyjną trzonu pala. Obliczenia zbrojenia pala przeprowadzane są wariantowo dla różnych średnic prętów zbrojeniowych. Umożliwia to optymalny dobór rodzaju zbrojenia pala do analizowanych kombinacji obciążeń.

Wyniki obliczeń prezentowane są w formie graficznej. Obejmują właściwości gruntu (rozkład modułu sztywności poziomej i oporu granicznego) oraz wykresy wyników obliczeń (rozkład momentu zginającego, siły poprzecznej, przemieszczenia pala i nośności konstrukcyjnej trzonu pala).

Co więcej program jest kompatybilny z programem forGeo PalePN, co umożliwia obliczanie nośności pali na podstawie danych z programu forGeo PaleKx.

## 4. WPROWADZENIE DANYCH – ZAKŁADKA DANE

### Parametry podłoża gruntowego

Parametry podłoża gruntowego

Tytuł obliczeń  Rzędna terenu  m npm

Nr	Nazwa gruntu	Z [m ppt]	ID / IL [-]	Geneza [-]	?
1				-	

- Tytuł obliczeń** – tytuł charakteryzujący analizowany projekt/przekrój geotechniczny
- Rzędna terenu** – rzędna istniejącego poziomu terenu w metrach nad poziomem morza. Po określeniu rzędnej terenu, przekrój geotechniczny tworzony w programie AutoCad zostanie uzupełniony dodatkowo o rzędne nad poziomem morza.

Tabela warstw gruntu:

- Nr** – numer aktualnej warstwy gruntu (kolumna generowana automatycznie)
- Nazwa gruntu** – należy z listy wybrać nazwę warstwy gruntu, klikając myszką (bez wpisywania z klawiatury)
- Z [m ppt]** – rzędna spągu warstwy gruntu
- ID/IL [-]** – stopień zagęszczenia / stopień plastyczności warstwy gruntu
- Geneza [-]** – geneza gruntu spoistego (A, B, C, D), dla gruntu niespoistego „-”
- Symbole dla gruntów spoistych zgodnie z PN-81/B-03020:
- A – grunty spoiste morenowe skonsolidowane,
  - B – inne grunty spoiste skonsolidowane oraz grunty spoiste morenowe nieskonsolidowane,
  - C – inne grunty spoiste nieskonsolidowane,
  - D – ły, niezależnie od pochodzenia geologicznego.

Do edycji tabeli warstw gruntu służą następujące przyciski:

- Nowa warstwa (strzałka w dół)** – tworzy kolejną warstwę, również po naciśnięciu na klawiaturze ↓ „strzałka w dół”
- Usuń warstwę** – usuwa bieżącą warstwę
- Wstaw pomiędzy warstwami** – wstawia dodatkową warstwę pomiędzy istniejącymi – przycisk nie służy do tworzenia kolejnych warstw

## Współczynniki materiałowe gruntu

Współczynniki materiałowe	
Dla kąta tarcia gruntu	<input type="text" value="1,00"/>
Dla spójności gruntu	<input type="text" value="0,40"/>
Dla ciężaru gruntu	<input type="text" value="0,90"/>

Przyjęto współczynniki materiałowe dla następujących cech fizycznych gruntu: kąt tarcia wewnętrznego, spójność oraz ciężar objętościowy gruntu. Istnieje możliwość modyfikacji domyślnych wartości poszczególnych współczynników.

**Współczynnik materiałowy dla kąta tarcia wewnętrznego gruntu  $\phi$**  – domyślna wartość współczynnika wynosi 1,00.

**Współczynnik materiałowy dla spójności gruntu  $c$**  – domyślna wartość współczynnika wynosi 0,40.

**Współczynnik materiałowy dla ciężaru objętościowego gruntu  $\gamma$**  – domyślna wartość współczynnika wynosi 0,90.

## Współczynniki globalne gruntu

Współczynniki globalne	
Dla sztywności poziomej $K_x$	<input type="text" value="1,00"/>
Dla reakcji granicznej $R_{gr}$	<input type="text" value="1,00"/>
Dla współczynnika odporu $K_p$	<input type="text" value="0,85"/>

Przyjęto współczynniki globalne dla sztywności poziomej gruntu, reakcji granicznej oraz odporu gruntu. Istnieje możliwość modyfikacji domyślnych wartości poszczególnych współczynników.

**Współczynnik dla sztywności poziomej  $K_x$**  – domyślna wartość współczynnika wynosi 1,00.

**Współczynnik dla reakcji granicznej  $R_{gr}$**  – domyślna wartość współczynnika wynosi 1,00.

**Współczynnik dla odporu  $K_p$**  uwzględniający uproszczenie wynikające z przyjmowania płaskiej powierzchni poślizgu  $\eta$  – domyślna wartość współczynnika wynosi 0,85.

## Woda gruntowa

Woda gruntowa	
<input type="radio"/>	Brak wody gruntowej
<input checked="" type="radio"/>	Poziom ustabilizowanego zwierciadła wody gruntowej
<input type="text" value=""/>	m ppt

W przypadku występowania wody gruntowej należy podać rzędną ustabilizowanego zwierciadła wody gruntowej. Wówczas dla warstw gruntu zalegających poniżej ustabilizowanego zwierciadła wody przyjęty zostanie ciężar gruntu z uwzględnieniem wyporu wody  $\gamma'$ .

## Parametry pala

Parametry pala

<p>Rodzaj pala <input type="text"/></p> <p>Technologia wykonania pala <input type="text"/></p> <p>Wartość kąta tarcia gruntu o pobocznice pala w gruntach:              spoistych <input type="text" value="-1,00"/> x <math>\phi</math>    niespoistych <input type="text" value="-0,50"/> x <math>\phi</math></p> <p><input type="checkbox"/> Konstrukcja tymczasowa</p>	<p>Średnica / szerokość boku pala <input type="text"/> m</p> <p>Długość pala <input type="text"/> m</p> <p>Rzędna spodu zwiercenia pala <input type="text"/> m ppt</p> <p>Beton <input type="text" value="C 25/30"/> <math>f_{ck}</math> <input type="text" value="25"/> MPa</p> <p>Stal <input type="text" value="S 500"/> <math>f_{yk}</math> <input type="text" value="500"/> MPa</p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Współczynniki materiałowe"/></p>
--	--

**Rodzaj pala** – należy określić rodzaj pala. Program umożliwia wybór następujących rodzajów pali fundamentowych:

- żelbetowy prefabrykowany
- z rury stalowej z dnem zamkniętym
- z rury stalowej z dnem otwartym
- wiercony bez iniekcji pod podstawą
- wiercony z iniekcją pod podstawą
- Vibro
- Vibrex
- Fundex
- Franki
- CFA
- Atlas
- Omega
- Tubex

**Technologia wykonania pala** – technologię wykonania pala należy określić w przypadku, gdy wybrano pal prefabrykowany (żelbetowy, z rur stalowych) lub pal wiercony. Dla pozostałych pali technologia ich wykonania zdefiniowana jest jednoznacznie przez rodzaj pala (np. pal CFA – wiercony, ATLAS – wkręcany, itd.). Program umożliwia wybór następujących technologii wykonania pali fundamentowych:

- wbijany
- wwibrowywany
- wpłukiwany (ostatni 1m wbijany)
- wiercony w zawieszynie (bez rury obsadowej)
- wiercony w rurze obsadowej wyciąganej
- wiercony w rurze obsadowej pozostawianej
- wiercony w rurze obsadowej wyciąganej głowicą pokrętną
- wiercony metodą obrotowo-ssącą z płuczka wodną

**Wartość kąta tarcia gruntu o poboczną palą** – należy określić wartość kąta tarcia gruntu o powierzchnię pala  $\delta$  w stosunku do kąta tarcia wewnętrznego gruntu  $\phi$ . Istnieje możliwość modyfikacji domyślnych wartości współczynników dla gruntów spoistych i niespoistych.

**Konstrukcja tymczasowa** – należy określić przeznaczenie fundamentu palowego. Jeżeli fundament stanowi konstrukcję tymczasową, domyślna wartość współczynnika wpływu obciążeń długotrwałych lub powtarzalnych  $\phi$  wynosi 1,00. W przeciwnym razie współczynnik  $\phi$  przyjmowany jest według zaleceń Koseckiego.

**Średnica / szerokość boku pala** – dla pali o przekroju kołowym należy określić średnicę pala, dla pali o przekroju kwadratowym należy określić szerokość boku pala.

**Długość pala** – należy określić długość pala mierzoną od spodu fundamentu do podstawy pala.

**Rzędna spodu zwieńczenia pala** – należy określić rzędną spodu zwieńczenia pala (rzędna spodu fundamentu).

**Klasa betonu** – dla pali żelbetowych należy określić klasę betonu. Domyślnie przyjmowana jest klasa betonu C25/30 (B30).

**Klasa stali** – należy określić klasę stali. W przypadku pali żelbetowych klasa stali odnosi się do wytrzymałości prętów zbrojeniowych natomiast w przypadku pali z rur stalowych do wytrzymałości rury. Domyślnie przyjmowana jest klasa stali S 500 (tj. dla prętów zbrojeniowych).

**Współczynniki materiałowe** – przycisk umożliwia wyświetlenie współczynników materiałowych dla betonu i stali.

Współczynniki materiałowe	
Współczynniki dla stali	
Współczynnik materiałowy dla stali	$\gamma_s$ 1,15
Współczynniki dla betonu	
Współczynnik materiałowy dla betonu	$\gamma_c$ 1,40
Współczynnik redukujący dla konstrukcji o wyjątkowym znaczeniu	$\alpha_{cc}$ 1,00

- **Współczynnik materiałowy dla stali**  $\gamma_s$  1,15
- **Współczynnik materiałowy dla betonu**  $\gamma_c$  1,40
- **Współczynnik redukcyjny dla konstrukcji o wyjątkowym znaczeniu**  $\alpha_{cc}$  1,00

## 5. PARAMETRY FUNDAMENTU PALOWEGO – ZAKŁADKA FUNDAMENT

**Parametry gruntu i pala** – po określeniu w zakładce „Dane” rodzaju gruntu, stopnia zagęszczenia/plastyczności (wraz z genezą dla gruntów spoistych) oraz rodzaju i technologii pala, generowane są automatycznie poniższe parametry ( $\gamma$ ,  $\gamma'$ ,  $\phi$ ,  $\delta$ ,  $c$ ,  $E_0$  zgodnie z PN-81/B-03020 natomiast  $S_n$  i  $\varphi$  zgodnie z metodą uogólnioną). Wszystkie wartości normowe parametrów **mogą być dowolnie modyfikowane** przez użytkownika. Po zmianie parametru istnieje możliwość przywrócenia wartości domyślnej (normowej).

Parametry obliczeń

Parametry gruntu i pala Przywróć wartości normowe parametrów

Nr	Nazwa gruntu	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	$\delta$ [°]	$c$ [kPa]	$E_0$ [MPa]	$S_n$ [-]	$\varphi$ [-]
1									

Tabela parametrów gruntu i pala:

- Nr** – numer warstwy gruntu
- Nazwa gruntu** – nazwa warstwy gruntu
- $\gamma$  [kN/m<sup>3</sup>]** – ciężar objętościowy gruntu
- $\gamma'$  [kN/m<sup>3</sup>]** – ciężar objętościowy gruntu z uwzględnieniem wyporu wody
- $\phi$  [°]** – kąt tarcia wewnętrznego gruntu
- $\delta$  [°]** – kąt tarcia gruntu o pobocznice pala
- $c$  [kPa]** – spójność gruntu
- $E_0$  [MPa]** – moduł odkształcenia pierwotnego gruntu
 
$$E_0 = \frac{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}{1 - \nu} \cdot M_0$$
  - $\nu$  – współczynnik Poissona
  - $M_0$  – edometryczny moduł ścisłości pierwotnej ( $E_{0ed}$ )
- $S_n$  [-]** – współczynnik technologii wykonywania pala (naruszenia struktury gruntu przy wykonywaniu pala)
- $\varphi$  [-]** – współczynnik wpływ obciążeń długotrwałych lub powtarzalnych



### Schemat fundamentu palowego

Zastosowany w programie autorski schemat fundamentu palowego umożliwia prowadzenie obliczeń sił przekrojowych oraz przemieszczenia pali jednocześnie dla kilku kierunków działania obciążenia poziomego oraz dla różnych rozstawów pali.

Schemat fundamentu umożliwia odwzorowanie **rzeczywistego układu pali** w projektowanym fundamencie. Schemat składa się z 9 charakterystycznych pali oznaczonych numerami od 1 do 9. Odpowiednie numery symbolizują charakterystyczne pale: narożne, krawędziowe i wewnętrzne.



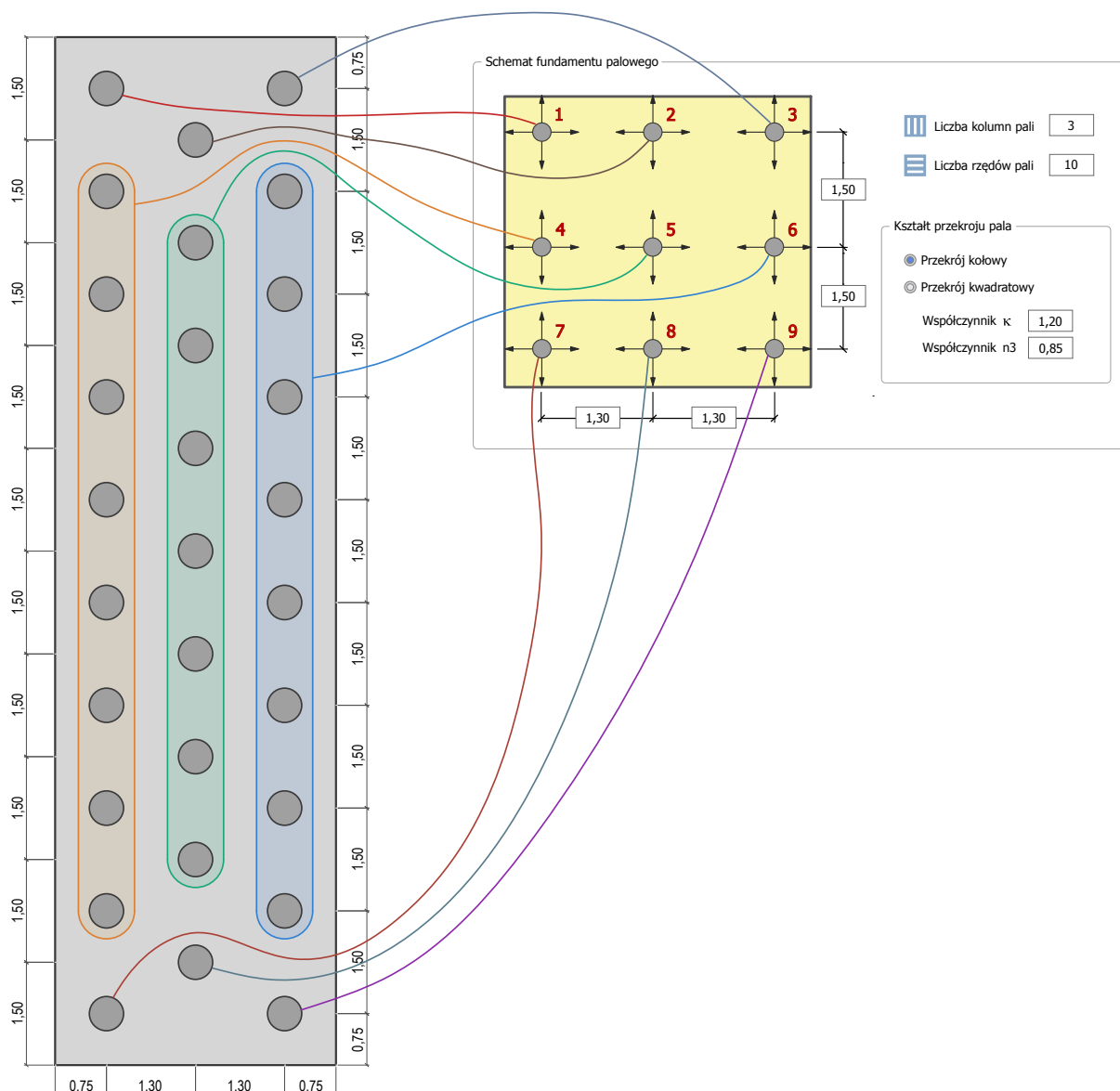
Charakterystyka pali w schemacie fundamentu:

- **Pal nr 5**  
Pal zlokalizowany w wewnętrznym rzędzie i wewnętrznej kolumnie pali. Pal nr 5 jest ograniczony palami sąsiednich rzędów i sąsiednich kolumn – pal wewnętrzny grupy palowej.
- **Pal nr 2 i 8**  
Pale zlokalizowane w wewnętrznej kolumnie i skrajnym rzędzie pali. Pale nr 2 i 8 są ograniczone palami sąsiednich kolumn natomiast znajdują się w skrajnym rzędzie grupy palowej.
- **Pal nr 4 i 6**  
Pale zlokalizowane w wewnętrznym rzędzie i skrajnej kolumnie pali. Pale nr 4 i 6 są ograniczone palami sąsiednich rzędów natomiast znajdują się w skrajnej kolumnie grupy palowej.
- **Pal nr 1, 3, 7, 9**  
Pale zlokalizowane w skrajnym rzędzie i skrajnej kolumnie pali. Pale nr 1, 3, 7 i 9 nie są ograniczone palami sąsiednich rzędów ani sąsiednich kolumn grupy palowej – pale narożne.

Na poniższym przykładzie zilustrowano **sposób przyporządkowania poszczególnych pali** fundamentu podpory mostowej do charakterystycznych pali schematu fundamentu. Wszystkie pale w podporze zostały w formie graficznej odniesione do charakterystycznych pali na schemacie fundamentu.

Przykładowy fundament podpory mostowej składa się z 29 pali natomiast schemat fundamentu jedynie z 9 pali charakterystycznych (narożnych, krawędziowych i wewnętrznych). W związku z powyższym poszczególnym palom schematu fundamentu przyporządkowane zarówno pojedyncze pale jak też całe grupy pali.

Zgodnie z poniższym rysunkiem skrajnym palom schematu fundamentu nr 1÷3 i 7÷9 odpowiadają pojedyncze pale podpory mostowej natomiast wewnętrznym palom schematu nr 4÷6 odpowiadają całe grupy pali.



**Rys 1.** Sposób przyporządkowania poszczególnych pali fundamentu podpory mostowej do charakterystycznych pali schematu fundamentu.

## 6. DEFINIOWANIE ZAKRESU OBLICZEŃ – ZAKŁADKA OBLICZENIA

**Obciążenia pala** – definiowane są jako obciążenia obliczeniowe występujące w głowicy pala. Przyjęto konwencję znaków jak na prezentowanym schemacie.

Obciążenia pala

Obciążenia obliczeniowe w głowicy pala

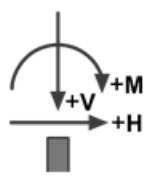
Moment zginający M  kNm

Obciążenie poziome H  kN

Obciążenie pionowe V  kN

Współczynniki obciążeń

Konwencja znaków



**M [kNm]** – moment zginający w głowicy pala

**H [kN]** – obciążenie poziome w głowicy pala

**V [kN]** – obciążenie pionowe w głowicy pala

**Współczynniki obciążeń** – przycisk umożliwia wyświetlenie częściowych współczynników bezpieczeństwa dla obciążeń stałych i zmiennych oraz współczynnika całkowitego obciążeń. Współczynniki obciążeń uwzględniane są w obliczeniach przemieszczenia pala do wyznaczenia charakterystycznych wartości obciążeń.

Współczynniki materiałowe    Współczynniki obciążeń

Współczynniki obciążeń

Częściowe współczynniki obciążeń

Obciążenia stałe  $\gamma_G$

Obciążenia zmienne  $\gamma_Q$

Całkowity współczynnik obciążeń

Stosunek obciążeń zmiennych do obciążeń całkowitych  $Q/(G+Q)$

Całkowity współczynnik obciążeń  $\gamma_{(G,Q)}$

### Częściowe współczynniki obciążeń

- Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla obciążeń stałych  $\gamma_G$  1,35
- Częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla obciążeń zmiennych  $\gamma_Q$  1,50

### Całkowity współczynnik obciążeń

- Stosunek obciążeń zmiennych do obciążeń całkowitych  $Q/(G+Q)$  0,50
- Całkowity współczynnik obciążeń wyznaczony wg  $\gamma_{(G,Q)}$  1,42

poniższej zależności:

$$\gamma_{(G,Q)} = \frac{Q}{G+Q} \cdot \gamma_Q + \left(1 - \frac{Q}{G+Q}\right) \cdot \gamma_G$$

## Obliczenia sił przekrojowych

Obliczenia sił przekrojowych

Obliczenia z uwzględnieniem uplastycznienia gruntu - rzeczywista współpraca pala z podłożem  
 Obliczenia z pominięciem uplastycznienia gruntu

Należy określić sposób obliczania sił przekrojowych. Obliczenia z uwzględnieniem uplastycznienia gruntu odwzorowującym rzeczywistą współpracę pala z podłożem gruntowym. Zasady obliczania sił przekrojowy z uwzględnieniem oraz z pominięciem uplastycznienia gruntu omówiono w punkcie 9.

## Obliczenia zbrojenia pala

Obliczenia zbrojenia pala

Zakres obliczeń zbrojenia

Obliczenia pełne - szczegółowe parametry zbrojenia  
 Obliczenia podstawowe - przekrój zbrojenia

Parametry geometryczne

Otulina zbrojenia  mm  
 Średnica strzemion (spirali)  mm  
 Minimalny rozstaw prętów (prześwit pomiędzy prętami)  mm

Sposób wyznaczenia przekroju zbrojenia

Wyznacz automatycznie liczbę prętów  
 Tylko parzysta liczba prętów  
 Definiuj liczbę prętów

Liczba prętów  szt.  
 Średnica prętów  mm

**Zakres obliczeń zbrojenia** – możliwe jest przeprowadzenie obliczeń pełnych obejmujących szczegółowe parametry zbrojenia lub obliczeń podstawowych. Porównanie zakresu obliczeń pełnych i podstawowych przedstawiono poniżej.

Zakres obliczeń zbrojenia pala	Obliczenia pełne	Obliczenia podstawowe
Wykres nośności konstrukcyjnej trzonu pala z graniczną wartością momentu zginającego i siły normalnej: $M_{ult,max}$ – graniczny moment zginający odpowiadający obliczeniowej sile normalnej $N_{ult,nim}$ , $N_{ult,max}$ – graniczne siły normalne odpowiadające obliczeniowemu momentowi zginającemu	✓	✓
Wyniki szczegółowe dla zbrojenia pala: $F_{s1}$ – wypadkowa naprężeń w zbrojeniu rozciągającym $F_{s2}$ – wypadkowa naprężeń w zbrojeniu ściskającym $z_{s1}$ – odległość wypadkowej naprężeń $F_{s1}$ od osi pala $z_{s2}$ – odległość wypadkowej naprężeń $F_{s2}$ od osi pala $\epsilon_{s1}$ – odkształcenia zbrojenia w strefie rozciąganej	✓	✗
Wyniki szczegółowe dla betonu pala: $x_{lim}$ – wysokość strefy ściskanej przekroju $F_{c1}$ – wypadkowa naprężeń ściskających w betonie $z_{c1}$ – odległość wypadkowej naprężeń $F_c$ od osi pala $\epsilon_{c1}$ – odkształcenia betonu w strefie ściskanej	✓	✗

**Parametry geometryczne** – należy określić następujące parametry geometryczne zbrojenia:

**Otulina zbrojenia** – należy określić otulinę zbrojenia pala. Wartość otuliny definiowana jest od krawędzi zewnętrznej pala do krawędzi zewnętrznej strzemion (spirali zbrojenia głównego).

**Średnica strzemion (spirali)** – należy określić średnicę strzemion (spirali zbrojenia głównego).

**Minimalny rozstaw prętów (prześwit pomiędzy prętami)** – należy określić minimalny dopuszczalny rozstaw pomiędzy prętami zbrojenia głównego. Po wykonaniu obliczeń wyświetlone zostaną tylko te warianty zbrojenia pala, których rozstaw prętów jest nie mniejszy niż rozstaw minimalny.

**Sposób wyznaczania przekroju zbrojenia** – należy określić sposób wyznaczania liczby prętów zbrojenia:

**Wyznacz automatycznie liczbę prętów** – wówczas liczba prętów wyznaczana jest przez program automatycznie. Wyniki obliczeń zbrojenia prezentowane są wariantowo dla różnych średnic prętów zbrojeniowych. Należy określić, czy obliczenia obejmują wyłącznie parzystą liczbę prętów zbrojeniowych, czy dopuszcza się także nieparzystą liczbę prętów.

**Definiuj liczbę prętów** – wówczas przekrój zbrojenia pala definiowany jest przez Użytkownika. Należy określić liczbę oraz średnicę prętów zbrojenia pala. W przypadku, gdy zdefiniowane zbrojenie nie spełnia warunku nośności konstrukcyjnej program automatycznie określa minimalną wymaganą liczbę prętów zbrojenia.

## 7. ZASADY OBLICZANIA SZTYWNOŚCI PALA ORAZ GRANICZNEJ REAKCJI GRUNTU

### 7.1 SZTYWNOŚĆ PALA

Obliczenia sztywności pala obejmują wyznaczenie wartości modułu sztywności poziomej gruntu  $K_x$ . Program wyznacza wartości poziomych podpór sprężystych w węzłach rozmieszczonych wzdłuż osi pala w rozstawie co 0,1m.

Wartość modułu sztywności poziomej gruntu  $K_x$

$$K_x = n_0 \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot S_n \cdot \kappa \cdot \varphi \cdot E_0$$

### 7.2 GRANICZNA REAKCJA GRUNTU

Obliczenia reakcji granicznej obejmują wyznaczenie granicznego oporu gruntu. Program wyznacza wartości granicznych reakcji gruntu w węzłach rozmieszczonych wzdłuż osi pala w rozstawie co 0,1m.

Wartość granicznej reakcji gruntu  $Q_r$

$$Q_r = m_1 \cdot S_n \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot D_0 \cdot (\sigma' \cdot K_{ph}' + c \cdot \sqrt{K_{ph}'})$$

gdzie:

- $n_0$  – współczynnik korekcyjny wpływu średnicy pala
- $n_1$  – współczynnik uwzględniający rozstaw pali w grupie w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku działania obciążenia poziomego
- $n_2$  – współczynnik uwzględniający rozstaw pali w grupie w płaszczyźnie równoległej do kierunku działania obciążenia poziomego
- $n_3$  – współczynnik uwzględniający przestrzenny charakter oddziaływania oporu bocznego gruntu, zależy od kształtu przekroju poprzecznego pala
- $S_n$  – współczynnik technologii wykonywania pala (naruszenia struktury gruntu przy wykonywaniu pala)
- $\kappa$  – współczynnik uwzględniający przestrzenność reakcji gruntu, zależy od kształtu przekroju poprzecznego pala
- $\varphi$  – współczynnik uwzględniający wpływ oddziaływania obciążeń długotrwałych lub powtarzalnych
- $E_0$  – moduł odkształcenia pierwotnego warstwy gruntu

$$E_0 = \frac{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}{1 - \nu} \cdot M_0$$

$\nu$  – współczynnik Poissona

$M_0$  – edometryczny moduł ściśliwości pierwotnej ( $E_{0ed}$ )

- m<sub>1</sub>** – współczynnik korekcyjny uwzględniający pracę pali w grupie
- D<sub>0</sub>** – zastępcza średnica pala
- σ'** – naprężenia pionowe efektywnego gruntu
- Kph'** – współczynnik oporu gruntu
- c** – spójność gruntu

### 7.3 WSPÓŁCZYNNIK TECHNOLOGII WYKONYWANIA PALA

Współczynnik technologii wykonywania pala **S<sub>n</sub>** uwzględnia wpływ naruszenia struktury gruntu podczas wykonywania pala na wartość sztywności pala oraz granicznego odpory gruntu.

Wartości współczynnika **S<sub>n</sub>** uwzględnione w programie są zgodne z założeniami metody uogólnionej. Wyjątek stanowią pale prefabrykowane (żelbetowe oraz z rur stalowych) wykonywane w gruntach spoistych. W metodzie uogólnionej współczynnik **S<sub>n</sub>** przyjmuje wartość zero podczas wwibrowywania oraz wplukiwania pali prefabrykowanych w grunt spoisty niezależnie od stanu plastyczności gruntu. Bez względu na stan gruntu spoistego metoda uogólniona zakłada zerową sztywność oraz zerowy odpór gruntu spoistego dla pali prefabrykowanych wwibrowywanych oraz wplukiwanych.

W programie uwzględniono natomiast następujące wartości współczynnika:

Rodzaj pala	Technologia wykonania pala	Wartość współczynnika <b>S<sub>n</sub></b>
Pal żelbetowy prefabrykowany oraz pal z rury stalowej z dnem zamkniętym	Wwibrowywany	0,50
	Wplukiwany (ostatni 1m wbijany)	0,30
Pal z rury stalowej z dnem otwartym	Wwibrowywany	0,70
	Wplukiwany (ostatni 1m wbijany)	0,50

## 8. ZRÓŻNICOWANIE SZTYWNOŚCI PALA I GRANICZNEJ REAKCJI GRUNTU W ZALEŻNOŚCI OD LOKALIZACJI PALA W FUNDAMENCIE

Wartości sztywności gruntu **Kx** oraz granicznej reakcji gruntu **Rgr** w obrębie tego samego fundamentu różnią się między sobą w zależności od odległości sąsiednich pali. Wpływ rozstawu i liczby pali w fundamencie uwzględniają współczynniki **n1** oraz **n2**.

W programie wprowadzono dodatkowo **zróżnicowanie** tych współczynników w zależności od lokalizacji pala w fundamencie – np. czy pal jest w pierwszym rzędzie, czy w kolejnych oraz czy pal jest skrajny, czy wewnętrzny. Sposób wyznaczania współczynników **n1** oraz **n2** omówiono w dalszej części. Zgodnie z metodą uogólnioną współczynniki **n1** oraz **n2** opisują następujące zależności:

Współczynnik **n1**:

$$n_1 = 0,2 \cdot \frac{R_1}{D} + 0,4 \leq 1,0$$

Współczynnik **n2**:

$$n_2 = \beta + \frac{(1-\beta) \cdot (R_2 - D)}{1,8 \cdot (1,5 \cdot D + 0,5)} \leq 1,0 \quad \text{dla } D < 1,0\text{m}$$

$$n_2 = \beta + \frac{(1-\beta) \cdot (R_2 - D)}{1,8 \cdot (D + 1,0)} \leq 1,0 \quad \text{dla } D \geq 1,0\text{m}$$

gdzie:

D – średnica lub szerokość boku pala, [m];

R<sub>1</sub> – rozstaw osiowy pali w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku działania obciążenia poziomego, [m];

R<sub>2</sub> – rozstaw osiowy pali w płaszczyźnie równoległej do kierunku działania obciążenia poziomego, [m];

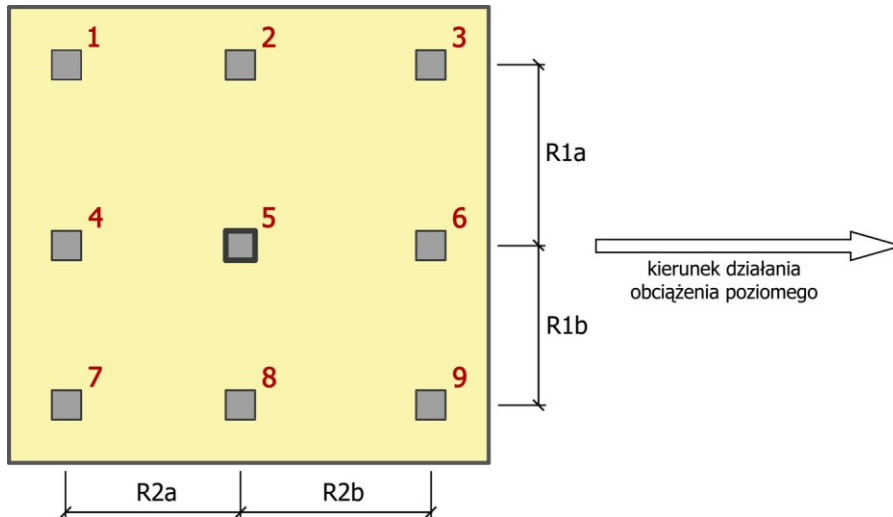
B – współczynnik zależny od liczby pali w rzędzie równoległym do kierunku działania obciążenia poziomego, [-] (β = 1,0 dla jednego rzędu pali, β = 0,6 dla dwóch rzędów pali, β = 0,5 dla trzech rzędów pali, β = 0,45 dla czterech i więcej rzędów pali).

W programie zastosowano autorski schemat fundamentu palowego, w którym **zróżnicowano** sztywności pali w zależności od lokalizacji pala w fundamencie poprzez uwzględnienie różnych wartości współczynników **n1** i **n2**. W dalszej części omówiono dla charakterystycznych pali sposób wyznaczania wartości współczynników determinujących wartość sztywności poziomej i oporu granicznego.



## 8.1 PAL ZLOKALIZOWANY W WEWNĘTRZNYM RZĘDZIE I WEWNĘTRZNEJ KOLUMNIE PALI

W schemacie fundamentu jest to pal nr 5, ograniczony palami sąsiednich rzędów i sąsiednich kolumn – tzw. pal wewnętrzny grupy palowej.



Wyjściowa postać wzoru na współczynnik **n1** wynosi:

$$n_1 = 0,2 \cdot \frac{R_1}{D} + 0,4 \leq 1,0$$

Pal wewnętrzny grupy palowej (nr 5) ograniczony jest zgodnie z powyższym rysunkiem sąsiednimi palami, których rozstaw osiowy w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku działania obciążenia poziomego wynosi **R1a** oraz **R1b**. W programie uwzględniono, że rozstaw sąsiednich pali może być różny (**R1a ≠ R1b**). W związku z tym współczynnik **n1** dla pala nr 5 obliczany jest jako wartość średnia wg wzoru:

$$n_{1,pal5} = \frac{n_1(R1a) + n_1(R1b)}{2} = \frac{\left(0,2 \cdot \frac{R1a}{D} + 0,4\right) + \left(0,2 \cdot \frac{R1b}{D} + 0,4\right)}{2} \leq 1,0$$

Wyjściowa postać wzoru na współczynnik **n2** wynosi:

$$n_2 = \beta + \frac{(1-\beta) \cdot (R_2 - D)}{1,8 \cdot (1,5 \cdot D + 0,5)} \leq 1,0 \quad \text{dla } D < 1,0\text{m}$$

$$n_2 = \beta + \frac{(1-\beta) \cdot (R_2 - D)}{1,8 \cdot (D + 1,0)} \leq 1,0 \quad \text{dla } D \geq 1,0\text{m}$$

Pal wewnętrzny grupy palowej (nr 5) ograniczony jest zgodnie z powyższym rysunkiem sąsiednimi palami, których rozstaw osiowy w płaszczyźnie równoległej do kierunku działania obciążenia poziomego wynosi **R2a** oraz **R2b**. W programie przyjęto, że wartość współczynnika **n2** obliczana jest w zależności od rozstawu osiowego pali ograniczających sztywność pala – tzn. znajdujących się przed analizowanym palem, zgodnie z kierunkiem działania obciążenia poziomego. W związku z tym

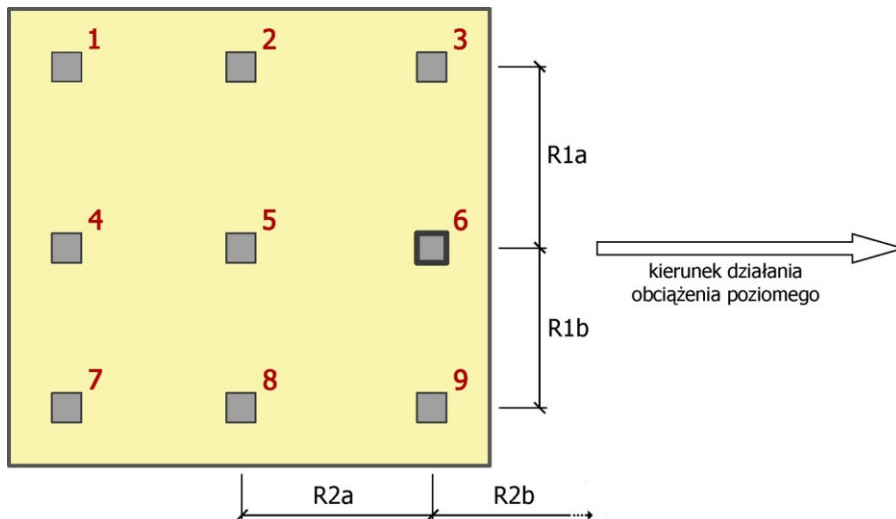
współczynnik **n2** dla pala nr 5 na kierunku działania obciążenia poziomego jak w przykładzie obliczany jest w zależności od rozstawu **R2b** wg wzorów:

$$n_{2,pal5} = \beta + \frac{(1-\beta) \cdot (R2b - D)}{1,8 \cdot (1,5 \cdot D + 0,5)} \leq 1,0 \quad \text{dla } D < 1,0\text{m}$$

$$n_{2,pal5} = \beta + \frac{(1-\beta) \cdot (R2b - D)}{1,8 \cdot (D + 1,0)} \leq 1,0 \quad \text{dla } D \geq 1,0\text{m}$$

## 8.2 PAL ZLOKALIZOWANY WEWNĄTRZ SKRAJNEGO RZĘDU LUB WEWNĄTRZ SKRAJNEJ KOLUMNY PALI

W schemacie fundamentu są to pale o numerach nr 2, 4, 6 i 8, ograniczone palami sąsiednich rzędów lub sąsiednich kolumn – tzw. pale krawędziowe grupy palowej. Poniżej przedstawiono wartości współczynników **n1** i **n2** dla pala nr 6 (zasada wyznaczania współczynników dla pozostałych pali krawędziowych 2, 4 i 8 jest analogiczna).



Wyjściowa postać wzoru na współczynnik **n1** wynosi:

$$n_1 = 0,2 \cdot \frac{R_1}{D} + 0,4 \leq 1,0$$

Pal krawędziowy grupy palowej (nr 6) ograniczony jest zgodnie z powyższym rysunkiem sąsiednimi palami, których rozstaw osiowy w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku działania obciążenia poziomego wynosi **R1a** oraz **R1b**. W programie uwzględniono, że rozstaw sąsiednich pali może być różny (**R1a ≠ R1b**). W związku z tym współczynnik **n1** dla pala krawędziowego nr 6 obliczany jest identycznie jak dla pala wewnętrznego nr 5, jako wartość średnia wg wzoru:

$$n_{1,pal6} = \frac{n_1(R1a) + n_1(R1b)}{2} = \frac{\left(0,2 \cdot \frac{R1a}{D} + 0,4\right) + \left(0,2 \cdot \frac{R1b}{D} + 0,4\right)}{2} \leq 1,0$$

Wyjściowa postać wzoru na współczynnik **n<sub>2</sub>** wynosi:

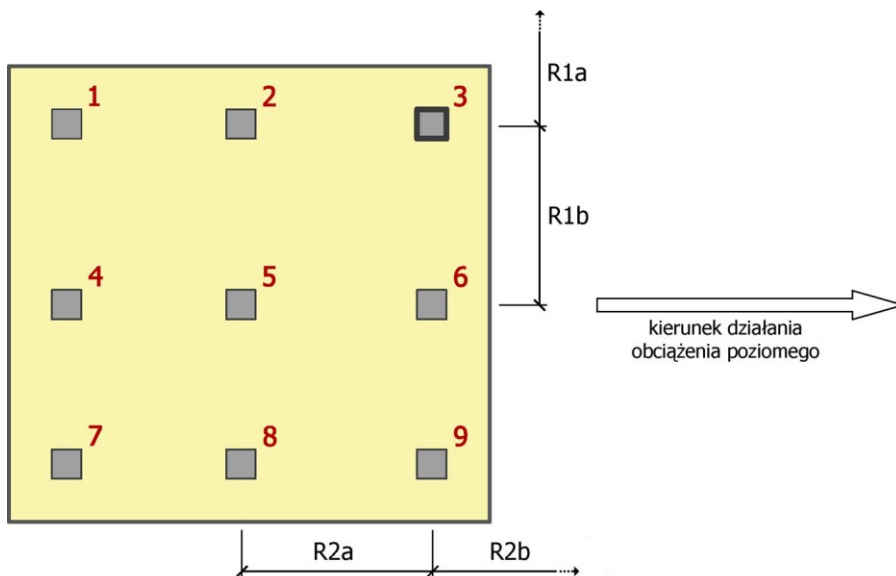
$$n_2 = \beta + \frac{(1-\beta) \cdot (R_2 - D)}{1,8 \cdot (1,5 \cdot D + 0,5)} \leq 1,0 \quad \text{dla } D < 1,0\text{m}$$

$$n_2 = \beta + \frac{(1-\beta) \cdot (R_2 - D)}{1,8 \cdot (D + 1,0)} \leq 1,0 \quad \text{dla } D \geq 1,0\text{m}$$

W programie przyjęto, że wartość współczynnika **n<sub>2</sub>** obliczana jest w zależności od rozstawu osiowego pali ograniczających sztywność pala – tzn. znajdujących się przed analizowanym palem, zgodnie z kierunkiem działania obciążenia poziomego. Na kierunku działania obciążenia poziomego jak w przykładzie, dla pala krawędziowego nr 6 brak jest redukcji sztywności ze względu na rozstaw osiowy **R2b**. W związku z tym wartość współczynnika **n<sub>2</sub>** dla pala krawędziowego nr 6 wynosi **1,0**.

### 8.3 PAL ZLOKALIZOWANY W SKRAJNYM RZĘDZIE I SKRAJNEJ KOLUMNIE PALI

W schemacie fundamentu są to pale o numerach nr 1, 3, 7 i 9, ograniczone sąsiednimi palami wyłącznie z jednej strony – tzw. pale narożne grupy palowej. Poniżej przedstawiono wartości współczynników **n<sub>1</sub>** i **n<sub>2</sub>** dla pala narożnego nr 3 (zasada wyznaczania współczynników dla pozostałych pali narożnych 1, 7 i 9 jest analogiczna).



Wyjściowa postać wzoru na współczynnik **n<sub>1</sub>** wynosi:

$$n_1 = 0,2 \cdot \frac{R_1}{D} + 0,4 \leq 1,0$$

Pal narożny grupy palowej (nr 3) zgodnie z powyższym rysunkiem ograniczony jest w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku działania obciążenia poziomego palami wyłącznie z jednej strony, o rozstawie osiowym wynoszącym **R1b**. Dla pala narożnego brak jest sąsiednich pali z drugiej strony ograniczających jego sztywność. W związku z tym współczynnik **n<sub>1</sub>** dla pala narożnego nr 3 obliczany jest z uwzględnieniem zwiększonej sztywności, jako wartość średnia wg wzoru:

$$n_{1,pal3} = \frac{n_1(R1b) + 1,0}{2} = \frac{\left(0,2 \cdot \frac{R1a}{D} + 0,4\right) + 1,0}{2} \leq 1,0$$

Wyjściowa postać wzoru na współczynnik **n2** wynosi:

$$n_2 = \beta + \frac{(1-\beta) \cdot (R_2 - D)}{1,8 \cdot (1,5 \cdot D + 0,5)} \leq 1,0 \quad \text{dla } D < 1,0\text{m}$$

$$n_2 = \beta + \frac{(1-\beta) \cdot (R_2 - D)}{1,8 \cdot (D + 1,0)} \leq 1,0 \quad \text{dla } D \geq 1,0\text{m}$$

W programie przyjęto, że wartość współczynnika **n2** obliczana jest w zależności od rozstawu osiowego pali ograniczających sztywność pala – tzn. znajdujących się przed analizowanym palem, zgodnie z kierunkiem działania obciążenia poziomego. Na kierunku działania obciążenia poziomego jak w przykładzie, dla pala narożnego nr 3 brak jest redukcji sztywności ze względu na rozstaw osiowy **R2b**. W związku z tym współczynnik **n2** dla pala narożnego nr 3 identycznie jak dla pala krawędziowego nr 6 wynosi **1,0**.

## 9. ZASADY OBLICZENIA SIŁ PRZEKROJOWYCH ORAZ PRZEMIESZCZEŃ

Program umożliwia wykonywanie obliczeń sił przekrojowych zarówno z uwzględnieniem lub z pominięciem zjawiska uplastycznienia gruntu.

Zaleca się wyznaczać siły przekrojowe w palach fundamentowych **z uwzględnieniem uplastycznienia gruntu**, które odwzorowuje rzeczywistą współpracę pala z podłożem gruntowym. Procedurę obliczeniową dla obu wariantów omówiono w dalszej części.

### 9.1 OBLICZENIA Z UWZGLĘDNIENIEM UPLASTYCZNIENIA GRUNTU

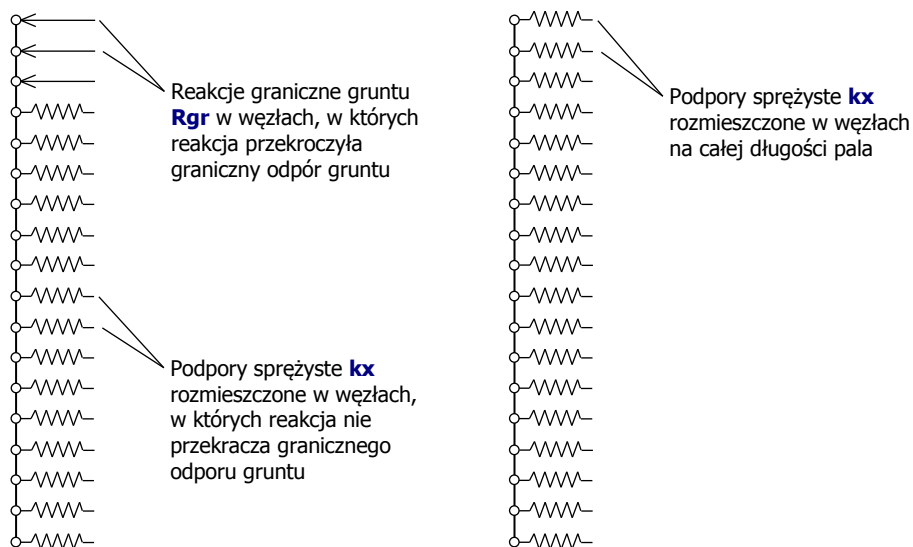
Obliczenia sił przekrojowych z uwzględnieniem uplastycznienia gruntu wykonywane są metodą iteracyjną wg następującej kolejności:

1. Początkowo współpraca pala z gruntem modelowana jest za pomocą poziomych podpór sprężystych rozmieszczonych wzdłuż osi pala we wszystkich węzłach, na całej długości.
2. Następnie obliczane są reakcje w poszczególnych podporach sprężystych.
3. Kolejno program sprawdza, czy na całej długości pala wartość reakcji w podporze sprężystej nie przekracza granicznego oporu gruntu. W przypadku stwierdzenia przekroczenia oporu granicznego program **zastępuje daną podporę sprężystą siłą skupioną** równą granicznemu oporowi gruntu **i ponownie przelicza nowy układ statyczny**. Przykładowy schemat statyczny pala z uwzględnieniem uplastycznienia pokazano na rys. 2a.
4. Kroki 2 i 3 wykonywane są do momentu stwierdzenia, że we wszystkich węzłach wartość reakcji nie przekracza oporu granicznego. Docelowy schemat statyczny pala określany jest metodą iteracyjną.
5. Ostatecznie prezentowane są wyniki sił przekrojowych.

### 9.2 OBLICZENIA Z POMINIĘCIEM UPLASTYCZNIENIA GRUNTU

Obliczenia sił przekrojowych z pominięciem uplastycznienia gruntu wykonywane są wg poniższej procedury:

1. Współpraca pala z gruntem modelowana jest jak poprzednio za pomocą poziomych podpór sprężystych rozmieszczonych we wszystkich węzłach wzdłuż osi pala, na całej długości.
2. Następnie obliczane są reakcje w poszczególnych podporach sprężystych.
3. Kolejno program sprawdza, czy na całej długości pala wartość reakcji w podporze sprężystej nie przekracza granicznego oporu gruntu.
4. W przypadku stwierdzenia przekroczenia oporu granicznego program **zgłasza stosowny komunikat jednak nie zmienia schematu statycznego pala**.
5. Obliczenia sił przekrojowych przeprowadzane są zawsze dla schematu pala obejmującego podpory sprężyste rozmieszczone we wszystkich węzłach wzdłuż osi pala. Przykładowy schemat statyczny pala z pominięciem uplastycznienia pokazano na rys. 2b.



**Rys. 2a**  
Schemat statyczny pala z  
uwzględnieniem uplastycznienia

**Rys 2b**  
Schemat statyczny pala z  
pominięciem uplastycznienia

### 9.3 OBLICZENIA PRZEMIESZCZENIA PALA

Przemieszczenie pala obliczane jest niezależnie od wybranego sposobu wyznaczania sił przekrojowych (tj. z uwzględnieniem lub z pominięciem uplastycznienia).

Wartość przemieszczenia obliczana jest zawsze dla schematu pala obejmującego poziome podpory sprężyste rozmieszczone we wszystkich węzłach wzdłuż osi pala – tj. zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 2b.

## 10. ZASADY WYMIAROWANIA PRZEKROJU PALA

### 10.1. WYMIAROWANIE PRZEKROJU PALI ŻELBETOWYCH

Do wymiarowania zbrojenia i sprawdzenia nośności konstrukcyjnej trzonu pala w stanie granicznym zastosowano model odkształceniowy – tj. z uwzględnieniem nieliniowych związków pomiędzy odkształceniami a naprężeniami w strefie ściskanej. W modelu tym obowiązują następujące założenia:

1. Prawo płaskich przekrojów zgodnie z zasadą Bernoulliego oznaczającą, że odkształcenia włókien przekroju w obciążonym elemencie są proporcjonalne do ich odległości od osi obojętnej.
2. Równość odkształceń stali zbrojeniowej i odkształceń otaczającego betonu na styku obu materiałów.
3. Brak wytrzymałości betonu na rozciąganie, z uwagi na zarysowanie przekroju.
4. Obliczeniowy związek między odkształceniami a naprężeniami w betonie ściskanym, pozwalający określić rozkłady naprężeń w strefie ściskanej betonu oraz ich wypadkową.
5. Obliczeniowy związek między odkształceniami a naprężeniami w stali zbrojeniowej.

Przekrój pala osiąga nośność graniczną, gdy wystąpi przynajmniej jeden z poniższych warunków:

- Odkształcenia w zbrojeniu rozciągany osiągną wartość graniczną  $\varepsilon_s = -10,0 \text{ ‰}$
- Odkształcenia w skrajnym włóknie ściskanym betonu osiągną wartość graniczną  $\varepsilon_c = +3,5 \text{ ‰}$
- Odkształcenia we włóknie betonu położonym w odległości  $3/7h$  od krawędzi bardziej ściskanej przekroju osiągną wartość  $\varepsilon_c = +2,0 \text{ ‰}$

Program prezentuje **krzywą nośności** granicznej trzonu pala z oznaczeniem wartości obliczeniowych występujących w przekroju oraz wartości granicznych momentu zginającego i siły osiowej.

### 10.2. WYMIAROWANIE PRZEKROJU PALI Z RUR STALOWYCH

Wymiarowanie przekroju pala z rury stalowej obejmuje sprawdzenie naprężeń normalnych oraz naprężeń stycznych. Obliczenia naprężeń normalnych, w których obciążenie oddziałuje w kierunku prostopadłym do przekroju pala obejmują:

- Sprawdzenie warunku nośności przekroju na zginanie ze ściskaniem – jeżeli obciążeniem osiowym pala jest siła wciskająca;
- Sprawdzenie warunku nośności przekroju na zginanie z rozciąganiem – jeżeli obciążeniem osiowym pala jest siła wyciągająca.

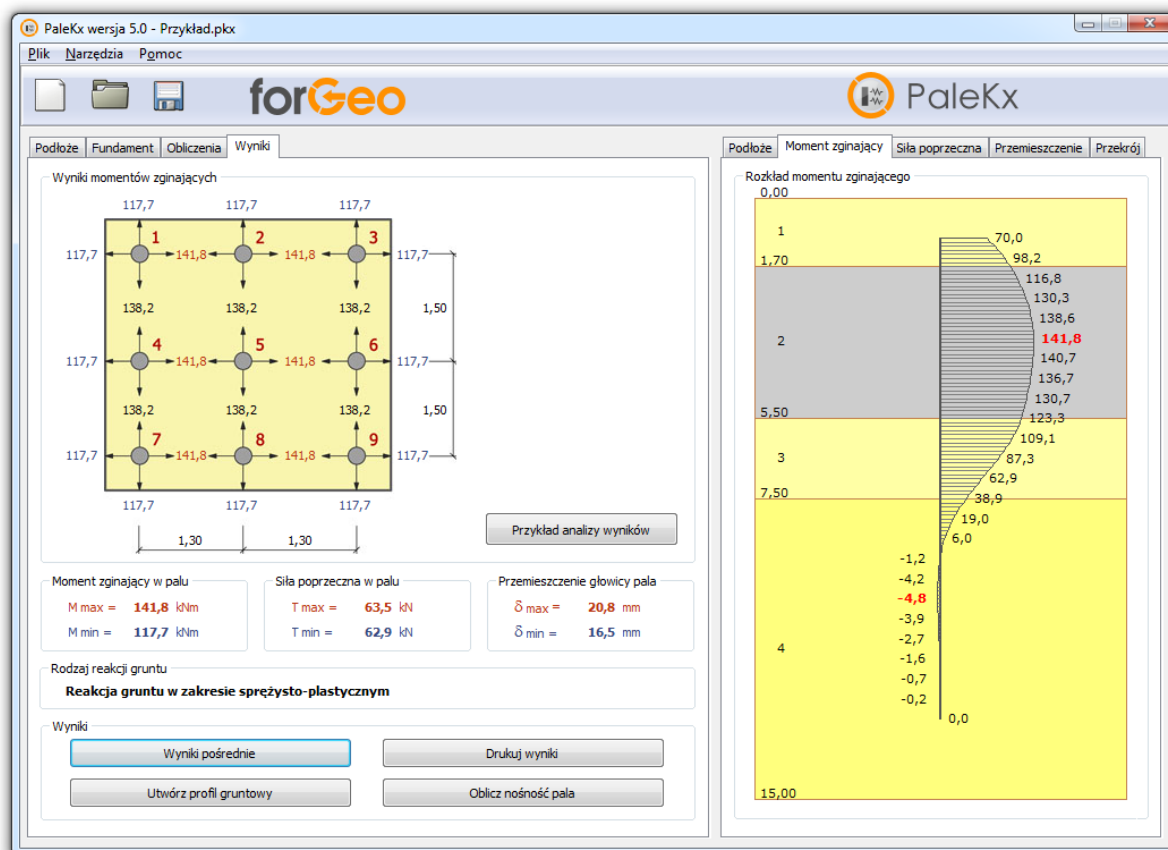
Obliczenia naprężeń stycznych, w których obciążenie oddziałuje równoległe do przekroju pala obejmują natomiast sprawdzenie warunku nośności przekroju na ścinanie.

W przypadku braku spełnienia warunków nośności przekroju pala zdefiniowanego przez Użytkownika program **automatycznie zwiększa** grubość ścianki pala z rury stalowej wyświetlając odpowiedni komunikat.

## 11. WYNIKI OBLICZEŃ – ZAKŁADKI WYNIKI

Wyniki obliczeń dla wszystkich pali prezentowane są na schemacie fundamentu. Przy każdym palu schematu fundamentu wyświetlane są, dla 4 kierunków działania obciążenia poziomego, wartości maksymalnego momentu zginającego na długości pala.

Wyniki szczegółowe dla poszczególnych pali wyświetlane są **po kliknięciu** wybranej wartości momentu zginającego na schemacie fundamentu.



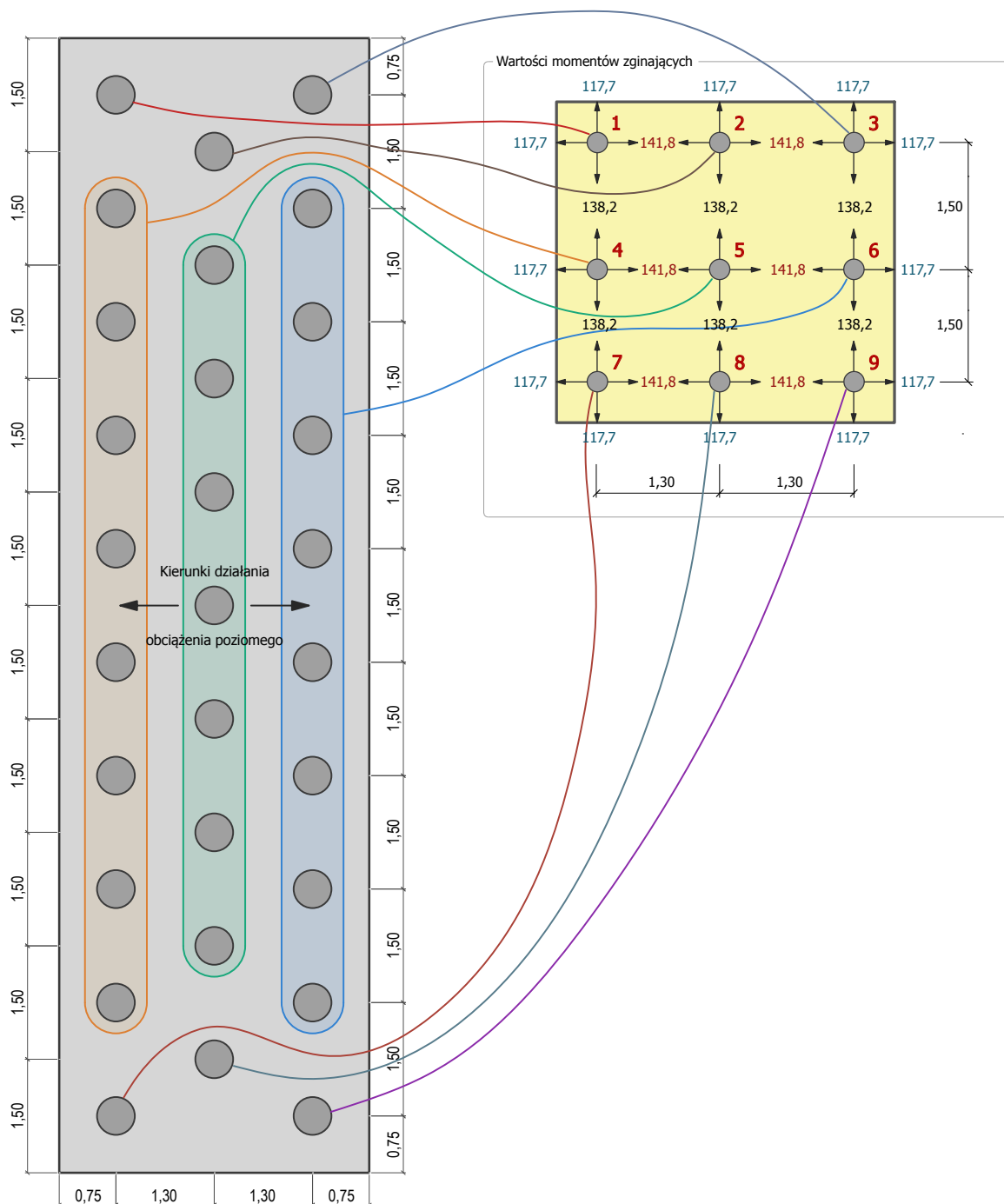
Dodatkowo prezentowane jest zestawienie maksymalnych i minimalnych wyników sił przekrojowych oraz przemieszczeń dla poszczególnych pali i kierunków działania obciążenia poziomego.

- $M_{max}$**  – maksymalna wartość ekstremalnego momentu zginającego na długości pala
- $M_{min}$**  – minimalna wartość ekstremalnego momentu zginającego na długości pala
- $T_{max}$**  – maksymalna wartość ekstremalnej siły poprzecznej na długości pala
- $T_{min}$**  – minimalna wartość ekstremalnej siły poprzecznej na długości pala
- $\delta_{max}$**  – maksymalna wartość przemieszczenia głowicy pala
- $\delta_{min}$**  – minimalna wartość przemieszczenia głowicy pala



Na poniższym przykładzie zilustrowano **sposób przyporządkowania wyników** charakterystycznych pali schematu fundamentu do poszczególnych pali fundamentu podpory mostowej.

W przykładzie przyjęto, że obciążenie poziome na podporę może działać równoległe do osi podłużnej mostu w dwóch kierunkach. W zależności od zwrotu obciążenia poziomego ( $\leftarrow$  lub  $\rightarrow$ ) każdemu palowi odpowiadają dwie wartości maksymalnego momentu zginającego (117,7 kNm lub 141,8 kNm). Ponieważ obciążenie poziome działa na każdy pal naprzemiennie to ostatecznie wartość maksymalnego momentu zginającego na długości pala wynosi **141,8 kNm**.



**Rys 3.** Sposób przyporządkowania wyników charakterystycznych pali schematu fundamentu do poszczególnych pali fundamentu podpory mostowej.

Należy zaznaczyć, że obciążenia w głowicy pala są jednakowe dla wszystkich pali w fundamencie. Różnice w wynikach sił przekrojowych oraz przemieszczenia pala wynikają z **różnej charakterystyki gruntu** poszczególnych pali.

Moment zginający w palu M max = <b>141,8</b> kNm M min = <b>117,7</b> kNm	Siła poprzeczna w palu T max = <b>63,5</b> kN T min = <b>62,9</b> kN	Przemieszczenie głowicy pala $\delta$ max = <b>20,8</b> mm $\delta$ min = <b>16,5</b> mm
---	--	--

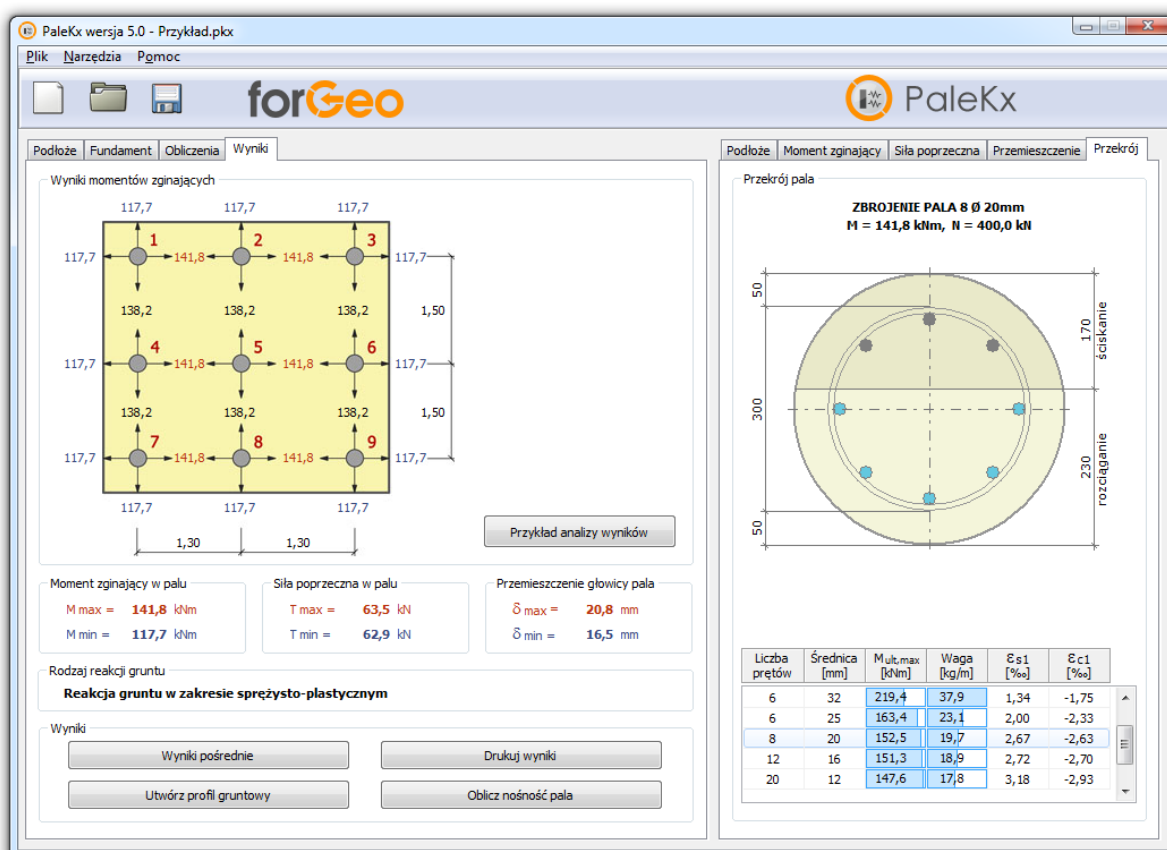
Program uwzględnia, że dla wspólnego rodzaju pali i jednakowego obciążenia wszystkich pali, wartości sztywność poziomej **kx** oraz granicznego oporu gruntu **Rgr** w projektowanym fundamencie uzależnione są od następujących parametrów:

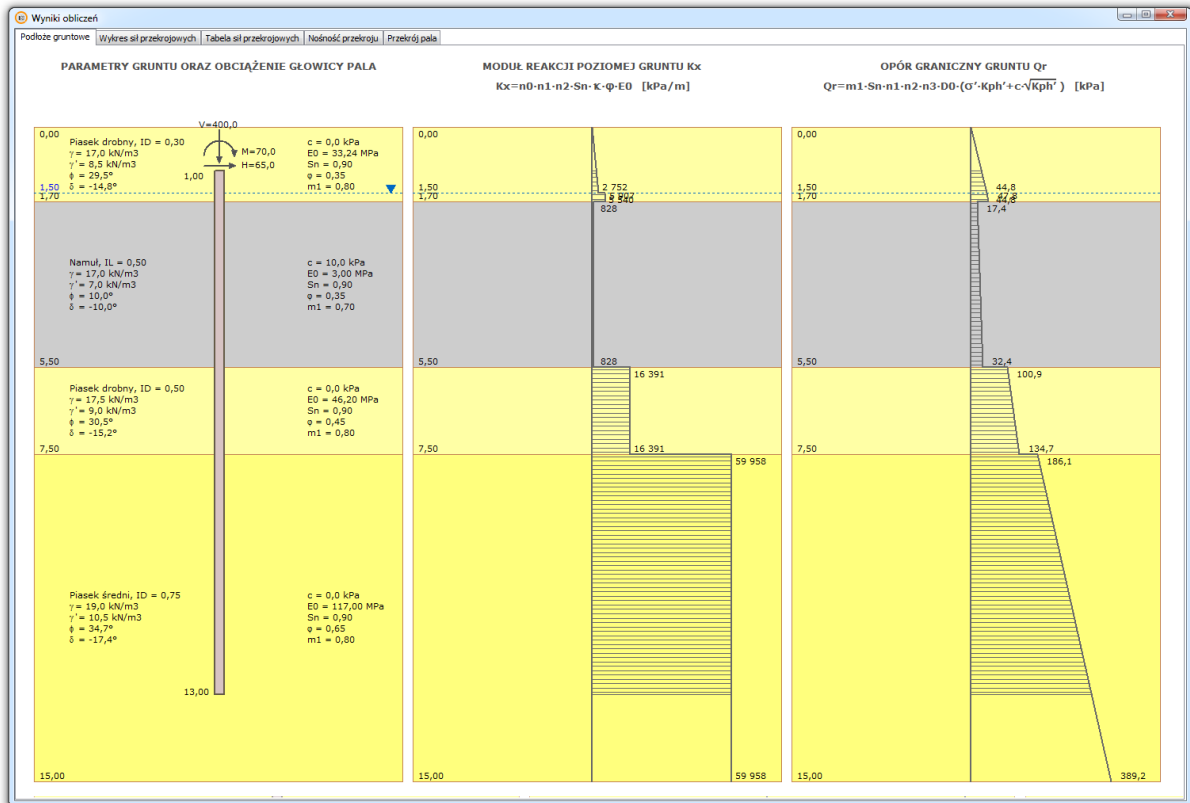
- gabarytów fundamentu (liczba rzędów oraz kolumn pali);
- lokalizacji pala w fundamencie (pał narożny, krawędziowy, wewnętrzny);
- odległości sąsiednich pali;
- kierunku działania obciążenia poziomego.

Program nie uwzględnia natomiast udziału oczezu zwieńczającego pale w przekazywaniu obciążeń.

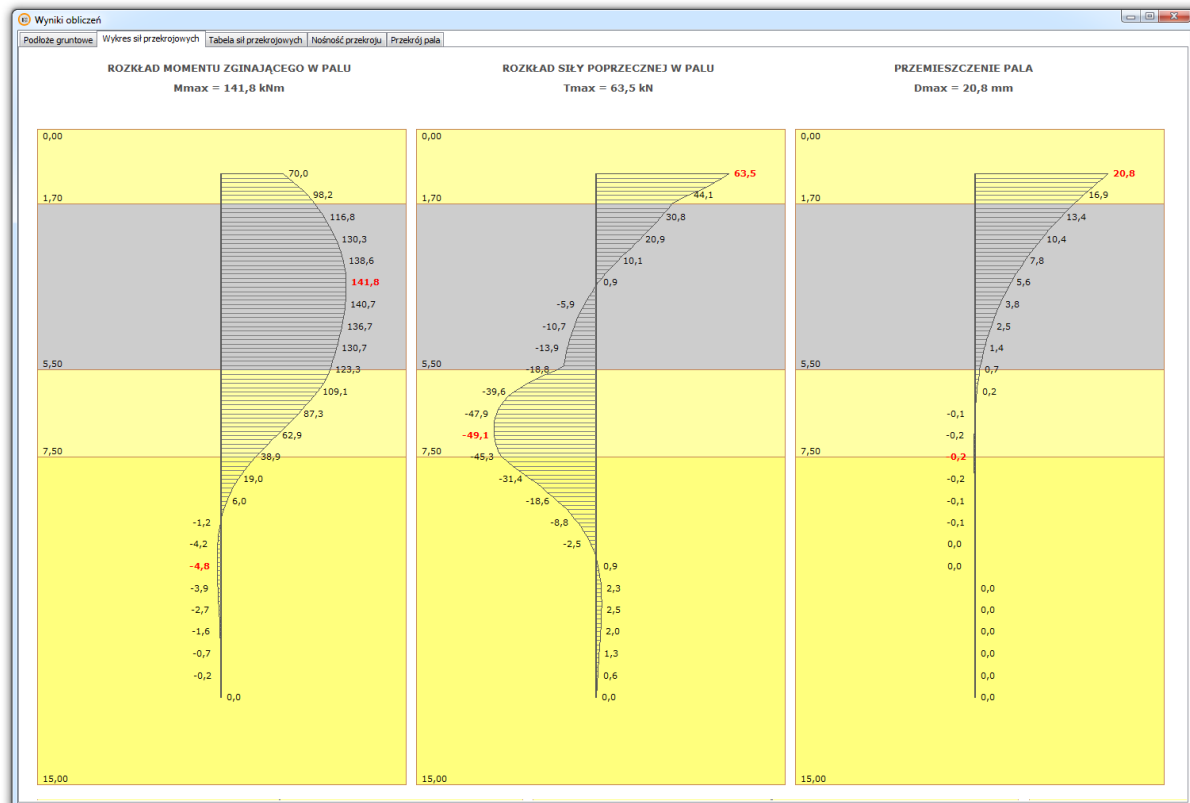
## 12. PREZENTACJA WYNIKÓW OBLICZEŃ

Szczegółowa prezentacja przeprowadzonych obliczeń wyświetlana jest po kliknięciu na poszczególne graficzne zakładki wyników (Podłoże, Moment zginający, Siła poprzeczna, Przemieszczenie, Przekrój).





Parametry geotechniczne podłoża, moduł reakcji poziomej gruntu oraz opór graniczny gruntu



Rozkład momentu zginającego, siły poprzecznej oraz przemieszczenie pala

Wyniki obliczeń

Podłoże gruntowe | Wykres sił przekrojowych | Tabela sił przekrojowych | Nośność przekroju | Przekrój pala

Zestawienie wyników w poszczególnych węzłach

Numer węzła [-]	Rzędna węzła [m pzd]	Długość pala [m]	Szywność pozioma [kV/m]	Opór graniczny [kN]	Reakcja w podporze [kN]	Wykorzyst. oporu [%]	Moment zginający [kNm]	Siła poprzeczna [kN]	Przesunięcie [mm]
1	1,00	0,00	94	1,53	1,53	100 %	70,0	63,5	20,8
2	1,10	0,10	202	3,28	3,28	100 %	76,3	60,2	20,0
3	1,20	0,20	220	3,58	3,58	100 %	82,4	56,6	19,2
4	1,30	0,30	238	3,88	3,88	100 %	88,0	52,7	18,4
5	1,40	0,40	257	4,18	4,18	100 %	93,3	48,6	17,6
6	1,50	0,50	415	4,46	4,46	100 %	98,2	44,1	16,9
7	1,60	0,60	572	4,63	4,63	100 %	102,6	39,5	16,2
8	1,70	0,70	334	3,25	3,25	100 %	106,5	36,2	15,4
9	1,80	0,80	83	1,78	1,78	100 %	110,1	34,4	14,7
10	1,90	0,90	83	1,82	1,82	100 %	113,6	32,6	14,1
11	2,00	1,00	83	1,86	1,86	100 %	116,8	30,8	13,4
12	2,10	1,10	83	1,90	1,90	100 %	119,9	28,9	12,8
13	2,20	1,20	83	1,94	1,94	100 %	122,8	26,9	12,1
14	2,30	1,30	83	1,98	1,98	100 %	125,5	24,9	11,5
15	2,40	1,40	83	2,01	2,01	100 %	128,0	22,9	10,9
16	2,50	1,50	83	2,06	2,06	100 %	130,3	20,9	10,4
17	2,60	1,60	83	2,10	2,10	100 %	132,4	18,8	9,8
18	2,70	1,70	83	2,14	2,14	100 %	134,2	16,6	9,3
19	2,80	1,80	83	2,18	2,18	100 %	135,9	14,4	8,7
20	2,90	1,90	83	2,22	2,22	100 %	137,3	12,2	8,2
21	3,00	2,00	83	2,26	2,14	95 %	138,6	10,1	7,8
22	3,10	2,10	83	2,29	2,03	89 %	139,6	8,0	7,3
23	3,20	2,20	83	2,34	1,93	82 %	140,4	6,1	6,8
24	3,30	2,30	83	2,37	1,82	77 %	141,0	4,3	6,4
25	3,40	2,40	83	2,42	1,72	71 %	141,4	2,6	6,0
26	3,50	2,50	83	2,45	1,63	66 %	141,7	0,9	5,6
27	3,60	2,60	83	2,49	1,53	62 %	141,8	-0,6	5,2
28	3,70	2,70	83	2,53	1,44	57 %	141,7	-2,0	4,8
29	3,80	2,80	83	2,57	1,36	53 %	141,5	-3,4	4,5
30	3,90	2,90	83	2,61	1,27	49 %	141,2	-4,7	4,2
31	4,00	3,00	83	2,65	1,19	45 %	140,7	-5,9	3,8
32	4,10	3,10	83	2,69	1,11	41 %	140,1	-7,0	3,5
33	4,20	3,20	83	2,73	1,04	38 %	139,4	-8,0	3,2
34	4,30	3,30	83	2,77	0,96	35 %	138,6	-9,0	3,0
35	4,40	3,40	83	2,81	0,89	32 %	137,7	-9,9	2,7
36	4,50	3,50	83	2,85	0,83	29 %	136,7	-10,7	2,5
37	4,60	3,60	83	2,89	0,76	26 %	135,7	-11,4	2,2
38	4,70	3,70	83	2,93	0,70	24 %	134,5	-12,1	2,0
39	4,80	3,80	83	2,96	0,64	22 %	133,3	-12,8	1,8
40	4,90	3,90	83	3,01	0,59	20 %	132,0	-13,4	1,6
41	5,00	4,00	83	3,04	0,53	18 %	130,7	-13,9	1,4
42	5,10	4,10	83	3,09	0,48	16 %	129,3	-14,4	1,2
43	5,20	4,20	83	3,12	0,44	14 %	127,9	-14,8	1,1
44	5,30	4,30	83	3,16	0,39	12 %	126,4	-15,2	0,9
45	5,40	4,40	83	3,20	0,35	11 %	124,9	-15,6	0,8
46	5,50	4,50	861	6,69	3,23	48 %	123,3	-18,8	0,7

Zestawienie wartości maksymalnych

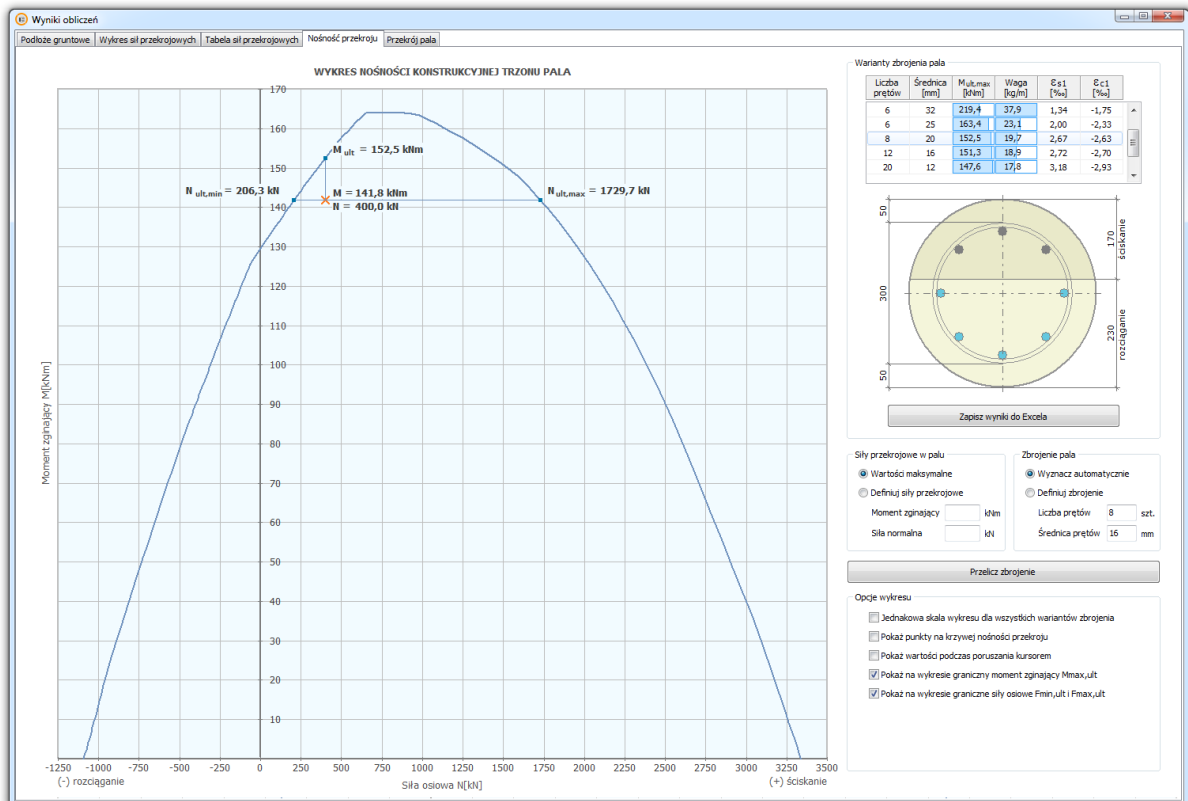
Maksymalny moment zginający  
M max = **141,8 kNm** -> L = 2,60 m

Maksymalna siła poprzeczna  
T max = **63,5 kN** -> L = 0,00 m

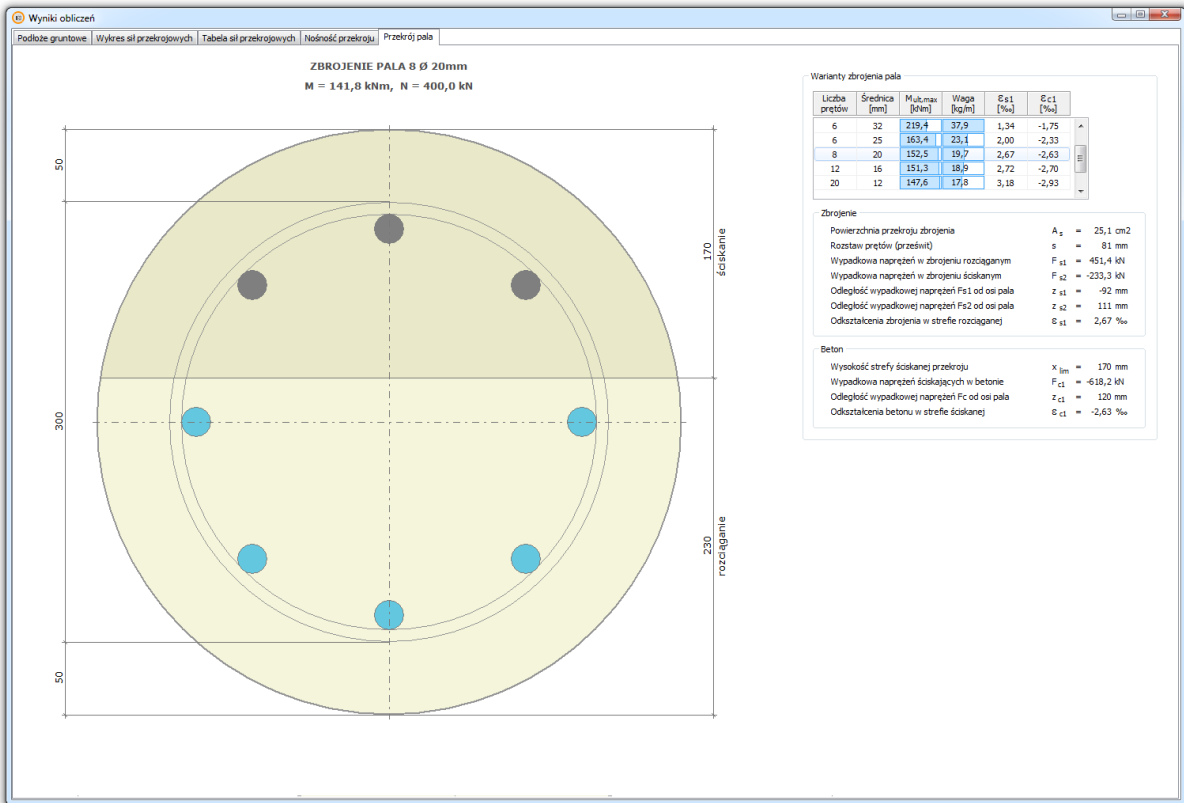
Maksymalne przesunięcie pala  
D max = **20,8 mm** -> L = 0,00 m

Zapisz wyniki do Excela

Zestawienie tabelaryczne wyników w poszczególnych węzłach



Wykres nośności konstrukcyjnej trzonu pala



Przekrój pala wraz z wynikami obliczeń zbrojenia i betonu

Przycisk **Wyniki pośrednie** – prezentuje parametry pośrednie wykonanych obliczeń.

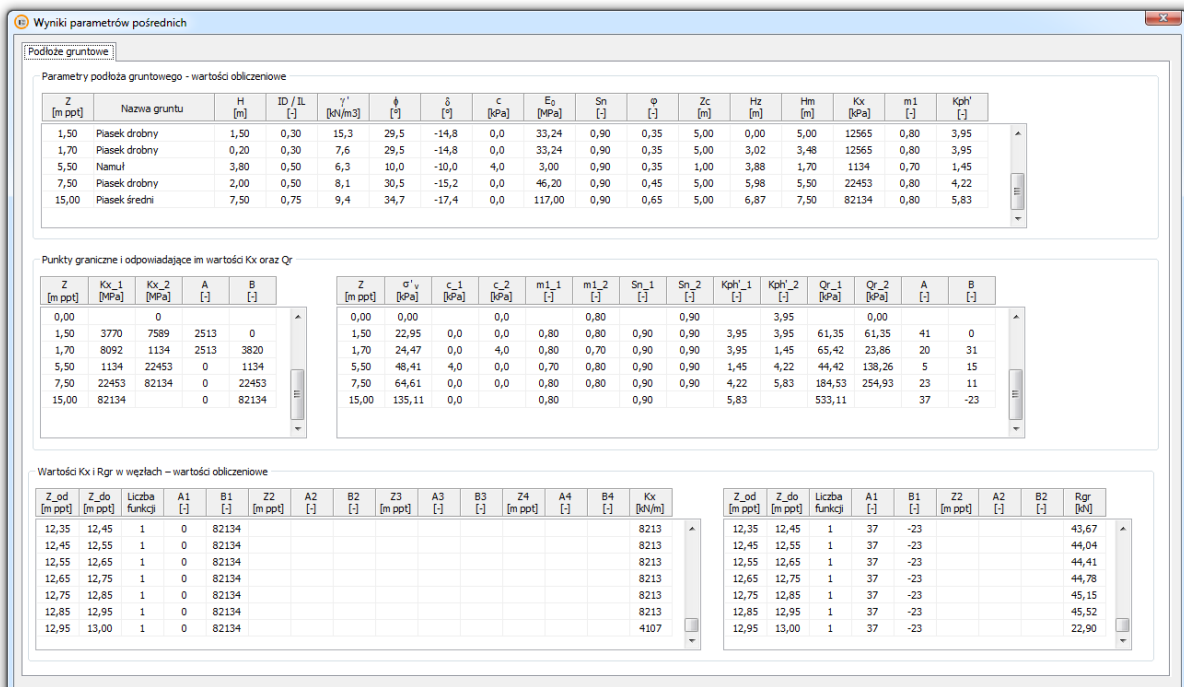


Tabela **Parametry podłoża gruntowego**

<b>Z [m ppt]</b>	– rzędna spągu warstwy gruntu
<b>Nazwa gruntu</b>	– nazwa warstwy gruntu
<b>H [m]</b>	– miąższość warstwy gruntu
<b>ID / IL</b>	– stopień zagęszczenia / plastyczności warstwy gruntu
<b><math>\gamma'</math> [kN/m<sup>3</sup>]</b>	– ciężar objętościowy gruntu z uwzględnieniem wyporu wody
<b><math>\phi</math> [°]</b>	– kąt tarcia wewnętrznego gruntu w warstwie
<b><math>\delta</math> [°]</b>	– kąt tarcia gruntu o pobocznice pala
<b>c [kPa]</b>	– spójność gruntu w warstwie
<b>E<sub>0</sub> [MPa]</b>	– moduł odkształcenia pierwotnego gruntu
	$E_0 = \frac{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}{1 - \nu} \cdot M_0$
	$\nu$ – współczynnik Poissona
	$M_0$ – edometryczny moduł ściśliwości pierwotnej ( $E_{0ed}$ )
<b>Sn [-]</b>	– współczynnik wpływu wykonywania pala
<b><math>\phi</math> [-]</b>	– współczynnik wpływu obciążeń długotrwałych lub powtarzalnych
<b>Zc [m ppt]</b>	– głębokość krytyczna, na której mobilizuje się maksymalna sztywność gruntu
<b>H<sub>z</sub> [m ppt]</b>	– wysokość zastępcza warstwy gruntu
<b>H<sub>m</sub> [m ppt]</b>	– głębokość mobilizacji maksymalnej sztywności gruntu
<b>K<sub>x</sub> [kPa]</b>	– moduł sztywności poziomej warstwy gruntu
<b>m<sub>1</sub> [-]</b>	– współczynnik korekcyjny równy 0,7 dla gruntów spoistych i 0,8 dla gruntów niespoistych
<b>K<sub>ph'</sub> [-]</b>	– współczynnik odporu gruntu

Tabela **Punkty graniczne i odpowiadające im wartości K<sub>x</sub>**

<b>Z [m ppt]</b>	– rzędna spągu warstwy gruntu
<b>K<sub>x_1</sub> [kPa]</b>	– wartość modułu sztywności poziomej gruntu dla warstwy o spągu na rzędnej Z
<b>K<sub>x_2</sub> [kPa]</b>	– wartość modułu sztywności poziomej gruntu dla warstwy o stropie na rzędnej Z
<b>A [-]</b>	– wartość współczynnika kierunkowego prostej $y = Ax + B$
<b>B [-]</b>	– wartość wyrazu wolnego prostej $y = Ax + B$

Tabela **Punkty graniczne i odpowiadające im wartości Q<sub>r</sub>**

<b>Z [m ppt]</b>	– rzędna spągu warstwy gruntu
<b><math>\sigma'_v</math> [kPa]</b>	– wartość pionowego naprężenia efektywnego w gruncie
<b>c<sub>1</sub> [kPa]</b>	– wartość spójności gruntu dla warstwy o spągu na rzędnej Z
<b>c<sub>2</sub> [kPa]</b>	– wartość spójności gruntu dla warstwy o stropie na rzędnej Z
<b>m<sub>1</sub> [-]</b>	– współczynnik korekcyjny gruntu dla warstwy o spągu na rzędnej Z

<b>m2 [-]</b>	– współczynnik korekcyjny gruntu dla warstwy o stropie na rzędnej Z
<b>Sn_1 [-]</b>	– współczynnik wpływu wykonywania pala dla warstwy o spągu na rzędnej Z
<b>Sn_2 [-]</b>	– współczynnik wpływu wykonywania pala dla warstwy o stropie na rzędnej Z
<b>Kph'_1 [-]</b>	– współczynnik oporu gruntu dla warstwy o spągu na rzędnej Z
<b>Kph'_2 [-]</b>	– współczynnik oporu gruntu dla warstwy o stropie na rzędnej Z
<b>Qr_1 [kPa]</b>	– opór graniczny gruntu dla warstwy o spągu na rzędnej Z
<b>Qr_2 [kPa]</b>	– opór graniczny gruntu dla warstwy o stropie na rzędnej Z
<b>A [-]</b>	– wartość współczynnika kierunkowego prostej $y=Ax + B$
<b>B [-]</b>	– wartość wyrazu wolnego prostej $y=Ax + B$

Tabela **Wartości Kx w węzłach**

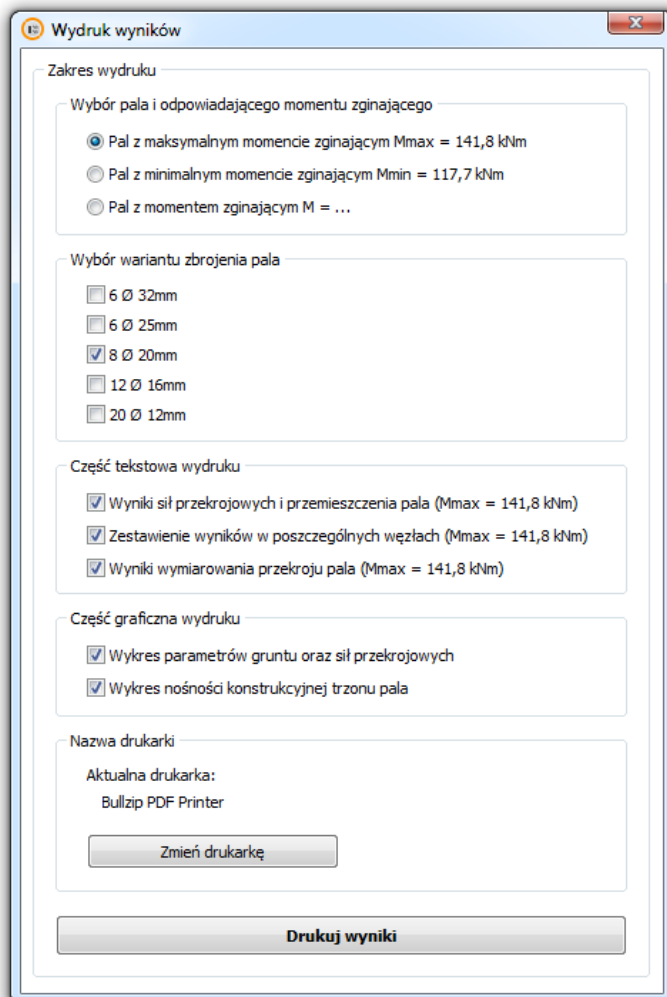
<b>Z_od [m ppt]</b>	– rzędna stropu „paska” gruntu
<b>Z_do [m ppt]</b>	– rzędna spągu „paska” gruntu
<b>Liczba funkcji</b>	– liczba funkcji opisujących przyrost modułu sztywności w „pasku” gruntu
<b>A1 [-]</b>	– wartość współczynnika kierunkowego prostej $y_1=A_1x + B_1$
<b>B1 [-]</b>	– wartość wyrazu wolnego prostej $y_1=A_1x + B_1$
<b>Z2 [m ppt]</b>	– rzędna, od której moduł sztywności gruntu opisuje prosta $y_2$
<b>A2 [-]</b>	– wartość współczynnika kierunkowego prostej $y_2=A_2x + B_2$
<b>B2 [-]</b>	– wartość wyrazu wolnego prostej $y_2=A_2x + B_2$
<b>Z3 [m ppt]</b>	– rzędna, od której moduł sztywności gruntu opisuje prosta $y_3$
<b>A3 [-]</b>	– wartość współczynnika kierunkowego prostej $y_3=A_3x + B_3$
<b>B3 [-]</b>	– wartość wyrazu wolnego prostej $y_3=A_3x + B_3$
<b>Z4 [m ppt]</b>	– rzędna, od której moduł sztywności gruntu opisuje prosta $y_4$
<b>A4 [-]</b>	– wartość współczynnika kierunkowego prostej $y_4=A_4x + B_4$
<b>B4 [-]</b>	– wartość wyrazu wolnego prostej $y_4=A_4x + B_4$
<b>Kx [kN/m]</b>	– wartość sztywności gruntu w węźle

Tabela **Wartości Rgr w węzłach**

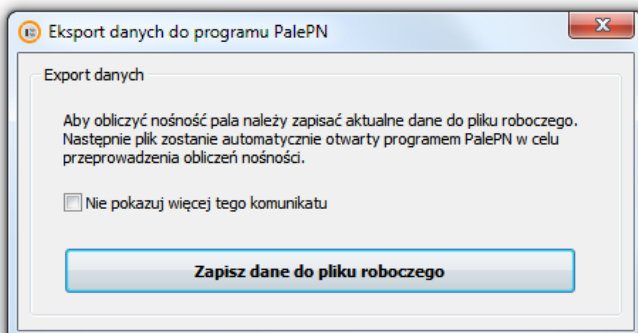
<b>Z_od [m ppt]</b>	– rzędna stropu „paska” gruntu
<b>Z_do [m ppt]</b>	– rzędna spągu „paska” gruntu
<b>Liczba funkcji</b>	– liczba funkcji opisujących przyrost oporu granicznego w „pasku” gruntu
<b>A1 [-]</b>	– wartość współczynnika kierunkowego prostej $y_1=A_1x + B_1$
<b>B1 [-]</b>	– wartość wyrazu wolnego prostej $y_1=A_1x + B_1$
<b>Z2 [m ppt]</b>	– rzędna, od której opór graniczny gruntu opisuje prosta $y_2$
<b>A2 [-]</b>	– wartość współczynnika kierunkowego prostej $y_2=A_2x + B_2$
<b>B2 [-]</b>	– wartość wyrazu wolnego prostej $y_2=A_2x + B_2$
<b>Rgr [kN]</b>	– wartość reakcji granicznej gruntu w węźle

**Drukuj wyniki** – drukuje wyniki wykonanych obliczeń. Program umożliwia wydruk części tekstowej oraz części graficznej obliczeń.

Istnieje możliwość wydruku wyników pala z maksymalnym lub minimalnym momentem zginającym, a także dla pala wskazanego na schemacie fundamentu.

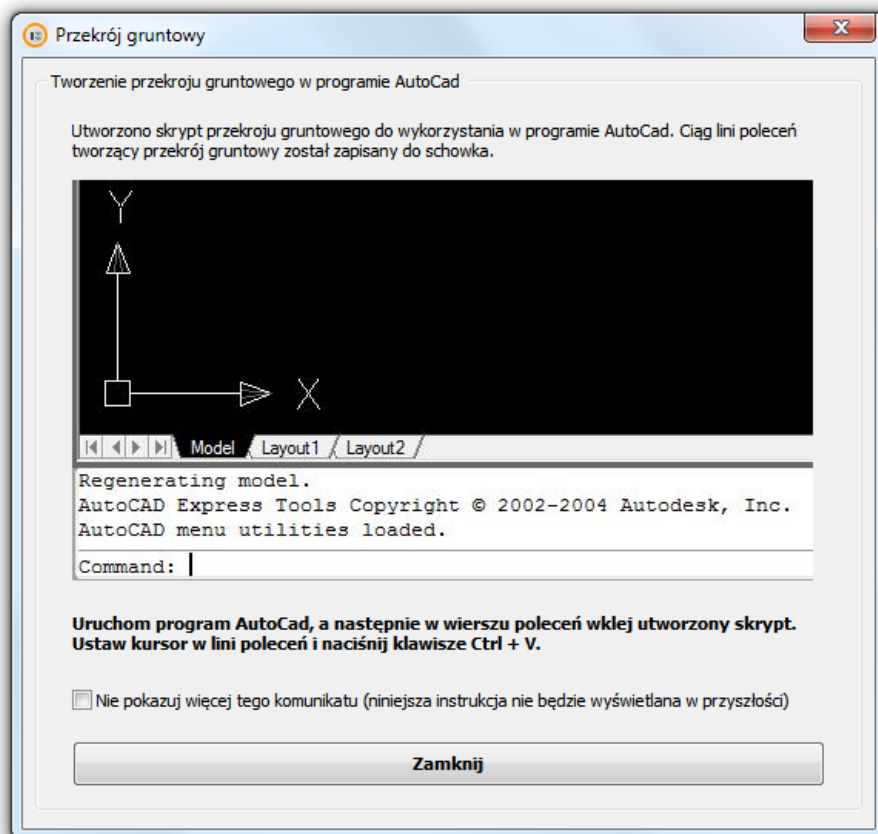


**Oblicz nośność pala** – eksportuje dane z programu PaleKx do programu PalePN. Aktualne dane należy zapisać do pliku roboczego, który następnie zostanie otwarty programem PalePN celem obliczenia nośności pala.





**Utwórz profil gruntowy** – tworzy skrypt (ciąg linii poleceń) programu AutoCad. Stworzony skrypt kopiowany jest bezpośrednio do schowka. Aby wygenerować przekrój gruntowy należy uruchomić program AutoCad, ustawić kursor na wierszu poleceń, a następnie wkleić zawartość (używając klawiszy Ctrl + V).



**Autor programu**  
**Jakub Roch Kowalski**

**kwiecień 2017**