

mgr inż. Paweł Siemaszko

**Analiza wpływu skrócenia trzonu pala na opór  
poboczniczy**

Analysis of the pile shortening effect on skin  
resistance formation

Rozprawa doktorska

Promotor rozprawy:  
**Prof. dr hab. inż. Zygmunt Meyer**



Spis treści	
Streszczenie .....	5
Abstract.....	6
Wykaz symboli – litery łacińskie .....	7
Wykaz symboli – litery greckie.....	9
1. Wstęp.....	10
2. Uzasadnienie celu podjęcia tematu.....	12
2.1. Cel pracy .....	13
2.2. Teza pracy .....	13
2.3. Zakres pracy .....	13
3. Przegląd literatury .....	14
3.1. Wprowadzenie do przeglądu literatury .....	14
3.2. Interpretacja krzywych obciążenie-osiadanie.....	15
3.3. Opis i uzasadnienie wyboru metody opartej na krzywej obciążenie-osiadanie .....	21
3.4. Normowe metody projektowania pali fundamentowych.....	28
3.5. Próbne obciążenia statyczne.....	36
3.5.1. Przegląd metod badawczych .....	36
3.5.2. Metoda próbnych obciążeń statycznych.....	39
3.6. Badania parametrów gruntowych sondą CPT/CPTu.....	43
3.7. Metody projektowania na podstawie wyników badań sondą CPTu.....	46
3.8. Podsumowanie przeglądu literatury .....	48
4. Analiza zjawiska oraz uproszczone rozwiązanie analityczne.....	50
5. Badania eksperymentalne .....	57
5.1. Cel i zakres badań eksperymentalnych .....	57
5.2. Opis poligonu terenowego oraz metodyka wykonywania badania .....	57
5.3. Opis bazy danych.....	59
5.4. Tablice wyników pomiarów .....	64
6. Zależność funkcyjna do analizy wyników badań eksperymentalnych.....	66
6.1. Opracowanie badań eksperymentalnych .....	68
6.2. Przypadki szczególne rozkładu naprężenia na poboczniczy .....	81

6.3.	Porównanie wyników badań eksperymentalnych z wynikami obliczonymi metodą analityczną	85
6.4.	Podsumowanie badań eksperymentalnych .....	89
7.	Określenie wpływu długości pala na mobilizację oporu poboczniczy .....	93
8.	Wnioski końcowe.....	103
9.	Program dalszych badań.....	106
Bibliografia: .....		107
Spis ilustracji: .....		111
Spis załączników.....		115



## Streszczenie

W niniejszej rozprawie doktorskiej przedstawiono metodę estymacji dystrybucji naprężenia oporu poboczniczy pala z uwzględnieniem zjawiska skrócenia pala. Po przedstawieniu przeglądu literatury przeprowadzonego przez Autora, przedstawiona została analiza zjawiska oraz proces analizy, który rozpoczął się od określenia matematycznego związku między naprężeniem, a głębokością z uwzględnieniem współczynnika determinującego stałe materiałowe w analizie. Cały aparat matematyczny oraz schemat formowania się naprężenia na poboczniczy pala bazuje na założeniach metody Meyera-Kowalowa, a przede wszystkim prawa Kirchhoffa. Po przedstawieniu ostatecznej wersji wzoru przyjętego do analizy, przedstawiono bazę danych użytą do weryfikacji otrzymanych związków.

Analizy były przeprowadzone dla dwóch pali, którym zostały przypisane numery 1 i 2 z literatury [42] oraz dla pali o numerach 3, 4, 5, 6, którymi dysponował Autor z zewnętrznego przedsiębiorstwa. Badania terenowe przeprowadzone dla pali były to statyczne obciążenia próbne z dodatkowym oprzyrządowaniem ekstensometrami dla wyznaczenia rozkładu naprężenia wzdłuż poboczniczy pali.

Następnie przeprowadzona została weryfikacja metod obliczeniowych na podstawie wyników badań eksperymentalnych z bazy danych przy zastosowaniu metody najmniejszych odchyłek kwadratów różnic. Po przedstawieniu weryfikacji oraz wniosków z tej części analizy, został omówiony przypadek nietypowego formowania się naprężenia wzdłuż poboczniczy pala, dla którego naprężenie pojawiało się w pierwszej kolejności w poziomie podstawy i następnie były mobilizowane ku górze aż do osiągnięcia naprężenia na całej długości pala wraz ze wzrostem obciążenia. Dla takiego przypadku formowania się naprężenia został przedstawiony osobny tok obliczeniowy umożliwiający przedstawienie rozkładu oporu poboczniczy na całej długości, co nie było możliwe przy zastosowaniu pierwotnej metody.

Na koniec Autor przedstawił wnioski ze wszystkich przeprowadzonych analiz, potwierdzenie udowodnienia tezy oraz plany dalszych prac nad podjętym zagadnieniem.

## **Abstract**

Provided doctoral dissertation presents a method of vertical stress skin resistance formation estimation with shortening pile effect included. After presenting the literature overview by Author, there was presented an analysis of the phenomena and mathematical calculations and relationships between the vertical stress and depth with the parameter defining material properties. The mathematical apparatus and scheme of vertical stress formation is based upon Meyer-Kowalow method, and most important Kirchhoff law. After presentation of the final version of the mathematical equation, which was the input to the further work in analysis, Author presented the database with which he worked through the dissertation.

Analysis was based upon two piles, numbered 1 and 2 from the literature [42], as well as for piles numbered 3, 4, 5, 6 which were provided by external source. The field experimental tests were static load tests for all analyzed cases with extensometers equipped additionally to provide the distribution of the vertical stress skin resistance for each pile.

Further there was verification made for the mathematical apparatus presented earlier using the least squares method and the results obtained from static load tests. After verification and initial summary of obtained results, there was unusual case presented. For one of the piles from database, the stress started forming on the base of the pile and happened to appear along the whole shaft with the increase of the vertical load put to the head of the pile. For this case, there was additional mathematical apparatus presented, that allowed to obtain the skin resistance values along the whole shaft, which was not possible with the formerly presented method.

To finish the dissertation Author provided the conclusions for the whole work, assumed the thesis was proven and presented the plans for further work upon presented phenomena in dissertation.

## Wykaz symboli – litery łacińskie

$a_0, a_1, a_2, b_1$  – wyrazy wolne równań w przedstawionych metodach

$a$  – współczynnik uwzględniający gabaryty pala, warunki gruntowe oraz współczynnik materiałowy betonu [-]

$A_1, A_2$  – stałe równania różniczkowego

$A_{c,CPT}$  – pole powierzchni podstawy stożka sondy CPT [mm<sup>2</sup>]

$A_p$  – pole podstawy pala [m<sup>2</sup>]

$A_s$  – pole poboczniczy pala [m<sup>2</sup>]

$A_{s,CPT}$  – pole powierzchni bocznej tulei stożka sondy CPT [mm<sup>2</sup>]

$C_{1(Hansen)}$  – współczynnik kierunkowy funkcji wg metody Hansena  $f(s) = \frac{\sqrt{s_i}}{N_i}$

$C_{2(Hansen)}$  – wyraz wolny funkcji wg metody Hansena  $f(s) = \frac{\sqrt{s_i}}{N_i}$

$C_{1(Decourt)}$  – współczynnik określający nachylenie odcinka o charakterze liniowym wg metody Decourta

$C_{2(Decourt)}$  – wyraz wolny odcinka o charakterze liniowym wg metody Decourta

$C_2, C_1$  – współczynniki krzywej otrzymywanej przez aproksymację wg teorii Meyera-Kowalowa  $\left[\frac{m}{MN}\right]$

$D$  – średnica pala [m]

$E_{bet}$  – moduł sprężystości betonu [MPa]

$E_t$  – moduł ścisłości gruntu przy poboczniczy pala [MPa]

$f_s$  – tarcie tulei stożka przy badaniu sondą CPT [MPa]

$G$  – moduł Kirchhoffa [GPa]

$h$  – długość pala [m]

$h_{ci}$  – głębokość krytyczna wg normy PN-83/B-02482 [82] [m]

$l$  – ramię ugięcia gruntu w metodzie Meyera-Kowalow [m]

$m$  – parametr korygujący wg PN-B/02482 [82] [-]

$N_2$  – pionowa siła przyłożona w głowicy pala wg metody Meyera-Kowalowa [N]

$N_1$  – pionowa siła działająca na grunt przy podstawie pala wg teorii Meyera-Kowalowa [N]

$N_{80\% Hansen}$  – nośność maksymalna pala wg metody Hansena [N]

$N_{gr(Decourt)}$  – nośność graniczna pala wg metody Decourta [N]  
 $N_{gr2}$  – nośność graniczna pala, przy której pal zaczyna osiadać w sposób niekontrolowany wg metody Meyera-Kowalowa [N]  
 $N_{gr1}$  – nośność graniczna podstawy pala, przy której pal zaczyna osiadać w sposób niekontrolowany wg metody Meyera-Kowalowa [N]  
 $N_t$  – całkowita nośność pala wciskanego wg normy PN-83/B-02482 [82] [N]  
 $N_p$  – nośność podstawy pala wciskanego wg normy PN-83/B-02482 [82] [N]  
 $N_s$  – opór poboczniczy pala wciskanego wg normy PN-83/B-02482 [82] [N]  
 $T$  – pionowa siła działająca na pobocznice pala wg teorii Meyera-Kowalowa [N]  
 $s_2, s_1$  – wartości osiadania odpowiednio głowicy oraz podstawy pala w teorii Meyera-Kowalowa [mm]  
 $s_*$  – skrócenie pala wg metody Meyera-Kowalowa [mm]  
 $s(z)$  – funkcja opisująca zmianę wartości osiadania w zależności od głębokości wg metody Meyera-Kowalowa [mm]  
 $q$  – jednostkowy odpór gruntu pod podstawą pala wg normy PN-83/B-02482 [82]  $\left[\frac{\text{MPa}}{\text{m}^2}\right]$   
 $Q_c$  – siła wciskająca stożek sondy CPT [MPa]  
 $Q_s$  – siła tarcia na tulei sondy CPT [MPa]  
 $q_c$  – opór stożka sondy CPT [MPa]  
 $Q_n$  – obciążenie charakterystyczne wg normy PN-83/B-02482 [82] [N]  
 $Q\gamma$  – obliczeniowa wartość obciążenia wg normy PN-83/B-02482 [82] [N]  
 $q^{(r)}$  – obliczeniowa jednostkowa nośność podstawy wg normy PN-83/B-02482  $\left[\frac{\text{MN}}{\text{m}^2}\right]$   
 $R_{bk}(s)$  – nośność gruntu pod podstawą pala [N]  
 $R_k(s)$  – całkowita nośność pala [N]  
 $R_{sk}(s)$  – opór poboczniczy pala [N]  
 $q_{sk}(s)$  – jednostkowa nośność gruntu pod podstawą pala [N]  
 $q_{silik}$  – jednostkowy opór poboczniczy dla i-tej warstwy o miąższości  $l_i$   $\left[\frac{\text{MN}}{\text{m}^2}\right]$   
 $l_i$  – miąższość i-tej warstwy gruntu, dla której analizowany jest opór poboczniczy [m]  
 $S_p, S_s$  – współczynniki uwzględniające warunki inżynierskie wg normy PN-83/B-02482 [82] [MPa]  
 $t^{(r)}$  – obliczeniowa jednostkowa nośność poboczniczy pala wg normy PN-83/B-02482 [82] [MPa]  
 $t_s$  – jednostkowy opór poboczniczy pala [MPa]

$t_{s,max}$  – maksymalny jednostkowy opór poboczniczy pała [MPa]

$s_g$  – graniczna wartość osiadania [mm]

$z_v; z_f$  – przemieszczenie odpowiednio poboczniczy oraz podstawy pała, przy których mobilizowane są maksymalne wartości oporów oporu tarcia oraz gruntu pod podstawą pała; najczęściej przyjmowane wartości  $z_v = 5 - 10$  mm, lub  $0,01D$  oraz  $z_f = 0,05 - 0,1D$

## Wykaz symboli – litery greckie

$\alpha_{transf}, \beta_{transf}$  – wykładniki funkcji odpowiednio: oporu tarcia i oporu pod podstawą pała od głębokości w metodzie funkcji transformacyjnych

$\alpha(q_b)$  – współczynnik uzależniony od parametrów gruntowych pomierzonych sondą CPTu

$\beta$  – współczynnik uwzględniający warunki gruntowe

$\delta^2$  – wartość kwadratów odchylek

$\kappa_2$  – bezwymiarowy współczynnik przedstawiający zależność między oporem poboczniczy i podstawy pała

$\gamma_b, \gamma_s$  – współczynniki nośności podawane w załącznikach krajowych do Eurokodów

$\gamma_f$  – współczynnik obliczeniowy nośności wg normy PN-81/B-03020 [81]

$\gamma_m$  – współczynnik zależny od stopnia zagęszczenia  $I_D$ , lub stopnia plastyczności  $I_L$  gruntu, dla  $\gamma_m < 1$ , wyznaczony wg normy PN-81/B-03020 [81]

$\tau$  – naprężenia wywołane na poboczniczy pała współpracą podłoża z gruntem [Pa]

$\tau_2, \tau_1$  – wartości składowej naprężenia na poboczniczy pała odpowiednio na poziomie głowicy i podstawy pała [Pa]

## 1. Wstęp

Ciągły postęp w budownictwie, rozwój technologii wykonawczych, metod obliczeniowych i doświadczenia związane z wykonanymi już projektami i budowlami pozwalają na coraz śmielsze i bardziej skomplikowane realizacje architektoniczne. Budowle XXI wieku nie muszą spełniać już tylko wymogów użytkowych, ale często powinny zadziwiać ciekawą formą, dynamicznym kształtem czy monumentalnymi rozmiarami. W przestrzeni publicznej pojawiają się wysokie budynki o dysharmonijnym kształcie, zadziwiające nieregularną, niesymetryczną formą. Rozwój konstrukcji nadziemnych nie byłby jednak możliwy, gdyby nie zaawansowana wiedza dotycząca fundamentowania budowli, która pozwala zaprojektować posadowienie budowli w sposób zapewniający budynkowi bezpieczeństwo i stateczność.

W miarę rozwoju wiedzy dotyczącej istoty i rozwoju fundamentowania w budownictwie powstawały publikacje naukowe [2, 23, 26, 68, 78], w których przedstawiono aktualne możliwości i metody służące projektowaniu posadowienia. Dziś zarówno firmy wykonawcze jak i jednostki naukowe starają się rozwijać tę wiedzę i metody, aby nadążyć za wymaganiami związanymi z coraz bardziej skomplikowane wizjami projektowymi.

Pale fundamentowe stały się nieodłącznym elementem wszystkich dziedzin budownictwa. Dzięki zastosowaniu różnorodnych materiałów oraz technologii mogą być one stosowane jako pośrednie posadowienie budowli i przekazywać obciążenie do nośnych warstw gruntu zarówno przez współpracę pobocznic jak i podstawy. Manipulacja gabarytami pali pozwala regulować sposób pracy pala z gruntem. Pale wielkośrednicowe będą miały mocniej wyteżoną podstawę, długie pale o mniejszych średnicach mogą w większym stopniu wykorzystywać pobocznice, jeśli warunki gruntowe i użytkowe na to pozwalają. Codziennością jest wykorzystywanie technologii i sprzętu do wykonywania pali w celach obudów wykopów, które mają zapewnić odpowiednie zabezpieczenie robót przy jednoczesnej wodoszczelności. Przykłady, w których pale stosowane są można mnożyć. Wszystkie realizacje wymagają od budowniczych kreatywności i ciągłej weryfikacji metod pracy. Jednocześnie pale fundamentowe stanowią uniwersalne rozwiązanie problemów bezpieczeństwa w wykonawstwie również śmiałych, wizjonerskich konstrukcji.

Istnieje wiele aspektów współpracy pala z gruntem, które wpływają na schemat jego pracy. Zdarzają się budowle, które nie mogą osiągać dużych wartości osiadania,

ponieważ sposób ich użytkowania mógłby być zakłócony. Na inżynierach projektujących i wykonujących fundamenty pośrednie ciąży duża odpowiedzialność. Muszą się oni zmierzyć nie tylko z wielkimi wymaganiami inwestorów związanymi z zaprojektowaniem i wykonaniem elementów budowli, ale również z ograniczeniami wynikającymi z warunków gruntowych. Może to skutkować np. przewymiarowaniem i niewykorzystaniem w pełni właściwości pali, ponieważ ważniejsze staje się spełnienie oczekiwań zamawiających. Nie prowadzi to często również do wykonywania elementów najbardziej opłacalnych ekonomicznie, a to także niezwykle istotna kwestia.

Fundamentowanie i geotechnika to specyficzne dziedziny budownictwa, ponieważ wykonane elementy pozostają w ziemi i trudno o weryfikację prawidłowości zastosowanego rozwiązania bez użycia specjalnie do tego przeznaczonych urządzeń. Na przestrzeni lat powstało wiele publikacji opisujących metody badań, które pozwalają zweryfikować, czy fundament palowy ma odpowiednią nośność lub/i ciągłość [10]. Dzięki powstałym metodom mogą dziś być publikowane prace, które zawierają badania dotyczące zachowania pali nawet kilkanaście lat po ich wykonaniu [1, 18].

Nacisk na ciągły i szybki rozwój budownictwa wymaga narzędzi, które pozwalają szybko weryfikować zastosowane rozwiązania, najlepiej już w trakcie ich wykonywania oraz wprowadzać ewentualne poprawki w jak najszybszym trybie.

## **2. Uzasadnienie celu podjęcia tematu**

Formowanie się naprężenia na poboczniczy pala jest jednym z głównych zagadnień podejmowanych w dziedzinie geotechniki w WBiIŚ w Szczecinie. Dzięki zaawansowaniu w sferze wykonywania badań pali fundamentowych możliwe stało się eksperymentalne wyznaczenie przebiegu zmiany siły osiowej w trzonie pala. Mając na uwadze niewykorzystywanie w pełni możliwości nośnych pali fundamentowych przez ograniczanie wartości osiadania, przez co nie jest możliwe mobilizowanie maksymalnego stanu naprężenia zarówno w podstawie, jak i w poboczniczy pala, Autor postanowił przeanalizować możliwości weryfikacji rozkładu naprężenia na poboczniczy oraz zjawiska wpływające na ten rozkład.

Opierając się na badaniach terenowych wykonanych na pełnowymiarowych palach fundamentowych, przy zastosowaniu pełnego oprzyrządowania pomiarowego, Autor postanowił opracować model obliczeniowy do wyznaczania przebiegu stanu naprężenia na poboczniczy oraz zbadać wpływ zmiany długości pala na mobilizację tego naprężenia.

Autor zakłada, że dzięki zaproponowanemu modelowi możliwe będzie wyznaczenie uproszczonego przebiegu naprężenia bez konieczności prowadzenia badań, które wiążą się z imperatywem indywidualnej interpretacji każdego badania oraz wysokimi kosztami ich wykonania.



## 2.1. Cel pracy

Celem pracy jest sformułowanie metod analizy oraz weryfikacja otrzymanych zależności obliczeniowych na podstawie wyników uzyskanych w badaniach terenowych.

Zbiór wartości  $\{N_i; s_i\}$ , który został otrzymany podczas statycznych próbnych obciążeń pali oprzyrządowanych pozwala na weryfikację modelu mobilizacji oporu poboczniczy pala oraz wyników otrzymanych na drodze obliczeń analitycznych.

## 2.2. Teza pracy

Uwzględnienie w analizie współpracy pala z gruntem skrócenia trzonu pala umożliwia z dostateczną dla celów praktycznych obliczeń dokładnością wyznaczenie pionowych zmian oporu poboczniczy.

## 2.3. Zakres pracy

Zakres pracy obejmuje:

- przeprowadzenie analizy zjawiska formowania naprężenia na poboczniczy pala przy założeniu gładkich powierzchni stykowych pala, równomiernego rozkładu normalnej składowej oporu poboczniczy pala oraz obliczeniach w zakresie liniowej zależności między obciążeniem a osiadaniem (do  $N \leq \sim 60\% N_{gr}$ ),
- opracowanie metod analitycznych pozwalających na otrzymywanie wykresu naprężenia na poboczniczy do zadanego obciążenia pala w głowicy,
- weryfikacja otrzymanych zależności na podstawie wyników badań eksperymentalnych,
- opracowanie procedury umożliwiającej zastosowanie proponowanej metody w sposób uproszczony w obliczeniach inżynierskich,
- analiza szczególnych przypadków uzyskanych w badaniach eksperymentalnych proponowanej metody,
- wnioski.

### 3. Przegląd literatury

#### 3.1. Wprowadzenie do przeglądu literatury

Posadowienia budowli w trudnych i skomplikowanych warunkach nie są już zadaniami, które przerastają możliwości inżynierów i technologii w obecnym stanie geotechniki. Decyzja dotycząca zlokalizowania inwestycji na terenach, które mogą wymagać wzmocnień terenu, niesie za sobą liczne trudności, jednak największą przeszkodą nie jest kwestia, jak technicznie wykonać te roboty, tylko co zrobić, żeby były efektywne inżyniersko i ekonomicznie uzasadnione. Geotechnika jest dziedziną wyróżniającą się spośród pozostałych zakresów prac przy wznoszeniu budowli o tyle, że jest mocno nieprzewidywalna i do każdego przypadku należy podejść indywidualnie. Nie jest możliwe wykonanie idealnych badań gruntowych, które przedstawią nam układ gruntu na danym terenie, nie podnosząc kosztów. Precyzyjne sporządzenie takich badań jest kluczowe do kolejnych kroków projektowania wzmocnień czy posadowienia, jednak liczba wykonywanych odwiertów nie zawsze pozwala na wykrycie każdej przeszkody znajdującej się pod powierzchnią terenu. Podziemny charakter większości konstrukcji geotechnicznych wymusza konieczność rozwoju technologii umożliwiających monitorowanie wszelkich zmian i ewentualnych nieprawidłowości po wykonaniu robót.

Definicja nośności maksymalnej pala została przyjęta początkowo, w latach 1960, jako wartość, przy której osiadanie głowicy pala przekracza 10% średnicy pala. W takim brzmieniu definicji nie uwzględniono szeregu zjawisk, które obecnie obowiązkowo należy wziąć pod uwagę. Jako przykład można podać odkształcenia pali, jak np. skrócenie pala opisane już przez Poulosa [64, 65]: zarówno samo zjawisko, jak i wzory na wyznaczenie tej wartości, wybożenia pali, szczególnie tych dłuższych o mniejszych średnicach [11, 66]. Ograniczenie osiadania w wielu przypadkach jest najważniejszym problemem przy projektowaniu, jednak nie powinno się ono wiązać z zależnym od niego pojęciem maksymalnego udźwigu pala. Poulos stwierdził, że dla pali, których stosunek długości do średnicy  $\frac{L}{D} > 20$ , 70-80% krzywej obciążenie-osiadanie ma charakter liniowy. O tym przedziale przy opracowywaniu swojej metody mówił również Meyer i Kowalów [51, 52] i o konieczności ekstrapolacji funkcji, służącej zbadaniu całkowitego przebiegu obciążania pala.

### 3.2. Interpretacja krzywych obciążenie-osiadanie

Graficznym przedstawieniem badania próbnych obciążeń statycznych nośności pala jest krzywa zależności obciążenie-osiadanie. W związku z ograniczeniami metody oraz zdobywaniem wiedzy na temat fundamentów pośrednich powstawało i powstają metody interpretacji krzywych [4, 7, 11, 13, 14, 29, 30, 39, 40, 47, 61, 62, 67, 75, 76]. Krzywa obciążenie-osiadanie może dostarczyć wiele informacji o możliwości nośności pala. Nie wszystkie metody jednak umożliwiają jednoznaczne stwierdzenie, jaka jest maksymalna nośność pala, ponieważ nie są wykonywane do zniszczenia pala. Błędem byłoby niewykorzystanie otrzymanych wyników do rozszerzania naszej wiedzy o pracy pali. Istnieją prace, w których analizuje się wiele aspektów współpracy pala z gruntem, bazując na wynikach badań eksperymentalnych. Prace obejmują analizy pojedynczych pali [15, 16] badań prowadzonych w długim okresie czasu [1, 18, 19] czy pali pracujących w grupie [20, 72]. Należy wspomnieć, że ograniczeniem metod są warunki w jakich badania są wykonywane. Układ gruntów, gabaryty i technologie pali są głównymi czynnikami mającymi wpływ na charakter otrzymywanych wyników.

Jedną z metod przedstawioną w roku 1966 przez Coyle'a i Reese'a [6] jest metoda opierająca się na funkcjach transformacyjnych. Obliczenia opierają się na układzie sił, który powstaje wskutek osiadania obciążonego pala. Rozkład funkcji na długości pala określany jest na podstawie wyników badań otrzymanych w czasie próbnych statycznych obciążeń. Na podstawie wartości otrzymanych w badaniach, zależnie od Autora [26, 34] stosowane są odpowiednie wzory do określania przebiegu krzywej rozkładu sił. Kioussis i Elansary [37] prezentują metodę, w której pal jest analizowany całościowo pod względem równowagi działających sił. Jest to podejście, w którym pal jest podzielony na części, z których każda jest analizowana pod względem równowagi działających sił.

Istotnym wnioskiem przedstawionym przez Hirayame [33] jest fakt, że do mobilizacji połowy maksymalnej nośności poboczniczy pala jest potrzebna siła o wartości  $N = \frac{1}{100} N_{gr}$  tj. całkowitej nośności granicznej pala. Prowadzi to do wniosku, że większość obciążeń jest przenoszonych przez pobocznice, ponieważ trendy w projektowaniu dążące do zminimalizowania wartości osiadania, ze względu na negatywny wpływ na budowlę, nie pozwalają w pełni wykorzystać możliwości nośnych pala i osiągnięcia wartości przemieszczenia, która zapewniłaby w większym stopniu wykorzystanie nośności podstawy pala.

Gwizdała [26, 27, 31] również opiera się na wynikach badań eksperymentalnych przeprowadzanych w terenie, w którym wykonywane jest posadowienie na palach fundamentowych. Estymacja przebiegu krzywej obciążenie-osiadanie zawiera wyrazy jednostkowych oporów pod podstawą oraz poboczniczy pala, które określane są na podstawie tablic opierających się na wynikach sondami np. CPTu. Określenie wartości współczynników  $\alpha$  oraz  $\beta$  było tematem innych prac naukowych [30], w których wskazana była konieczność zwiększenia liczby badań w celu doprecyzowania możliwego przedziału wartości tych parametrów. Przykładowe przebiegi funkcji wyznaczonej tą metodą pokazano na rys. 1. Ogólna postać równań transformacyjnych (czy też transferowych) [24, 41] wygląda następująco:

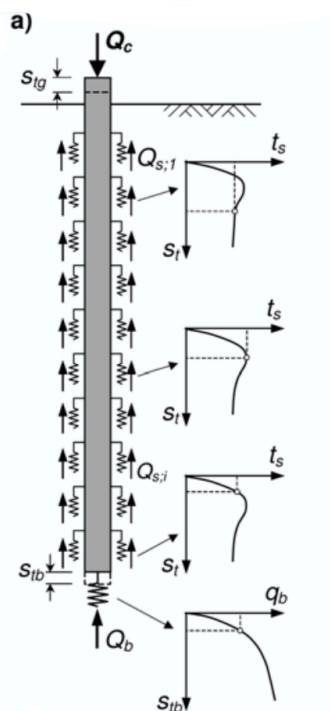
$$t_s = t_{s,max} \left( \frac{s_s}{z_v} \right)^{\alpha_{transf}} \quad \text{dla } t_s \leq t_{s,max} \quad (1)$$

$$q_b = q_{b,f} \left( \frac{s_b}{z_f} \right)^{\beta_{transf}} \quad \text{dla } q_b \leq q_{b,f} \quad (2)$$

w których:

$\alpha_{transf}, \beta_{transf}$  – wykładniki funkcji odpowiednio oporu tarcia od głębokości i oporu pod podstawą pala od głębokości; najczęściej przyjmowane wartości  $\alpha = 0,3 - 0,5$ ;  $\beta = 0,25 - 0,6$ ,

$z_v; z_f$  – przemieszczenie odpowiednio poboczniczy oraz podstawy pala, przy których mobilizowane są maksymalne wartości oporów oporu tarcia oraz gruntu pod podstawą pala; najczęściej przyjmowane wartości  $z_v = 5 - 10 \text{ mm}$ , *lub*  $0,01D$  oraz  $z_f = 0,05 - 0,1D$ .



Rys. 1 Schemat do obliczeń pala oraz postaci funkcji transferowych [30]

Istnieją również inne metody interpretacji krzywej obciążenie-osiadanie. Brinch Hansen [4] podał definicję, według której osiadanie pala przy 80% obciążenia maksymalnego jest czterokrotnie mniejsze niż przy obciążeniu maksymalnym. Podano również definicję mówiącą, że maksymalny udźwig pala jest to obciążenie powodujące dwukrotnie większe osiadanie niż przy 90% maksymalnego udźwigu pala. Dzięki takim wskaźnikom możliwe jest odczytywanie wartości bezpośrednio z wykresów, jak i otrzymywanie ich za pomocą obliczeń. Przy stosowaniu tej metody warto zwrócić uwagę na to, czy wartości otrzymywane ze wzorów metody Hansena, rzeczywiście znajdują się w oczekiwanych miejscach na wykresie ( $s_{N80\%Hansen} = s_{Ngr}$ ).

$$N_{80\%Hansen} = \frac{1}{2\sqrt{C_1 C_2}} \quad (3)$$

w którym:

$N_{80\%Hansen}$  – nośność/nośność maksymalna pala,

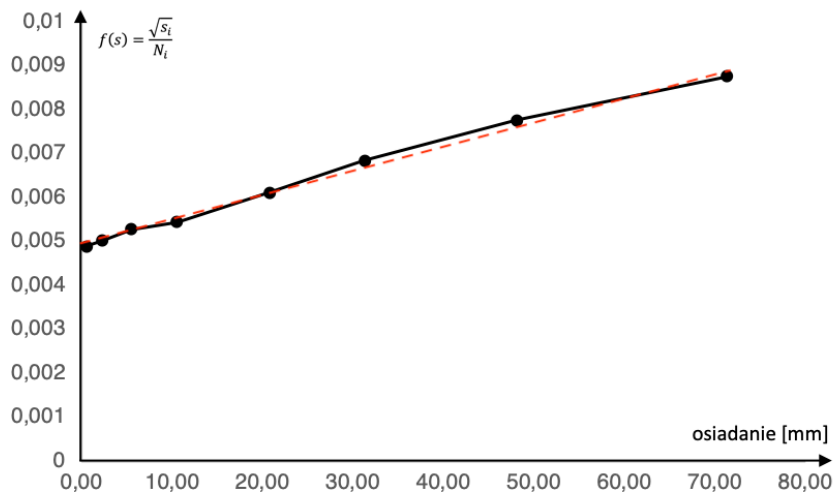
$C_{1(Hansen)}$  – współczynnik kierunkowy danych na wykresie o charakterze liniowym,

$C_{2(Hansen)}$  – wyraz wolny prostej o współczynniku kierunkowym  $C_1$ .

Związek liniowy, którego wartości tworzą oś pionową wykresu wyznacza się wg wzoru:

$$f(s) = \frac{\sqrt{s_i}}{N_i} \quad (4)$$

Wykres sporządzony wg metody Hansena zaprezentowano na rys. 2.



Rys. 2 Wykres danych dla pala wg metody 80% Hansena [opracowanie Autora]

Chin i Kondner [7] również wyznaczyli funkcję, która określa stosunek osiadania do przyłożonego obciążenia. W analizowanym przykładzie początkowe wartości nie tworzą linii prostej, jednak później jednoznacznie można stwierdzić charakter liniowy. Przebieg otrzymywany metoda China-Kondnera jest wariantem otrzymywanym metodą Meyera-Kowalowa [51] przy współczynniku  $\kappa = 1$ , co jest szczególnym przypadkiem, gdy nośność podstawy oraz poboczniczy są porównywalne. Mamy wtedy:

$$N_{(Chin-Kondner)} = \frac{s_i}{a_1 s_1 + b_1} \quad (5)$$

$$f(s) = \frac{s_i}{N_i} \quad (6)$$

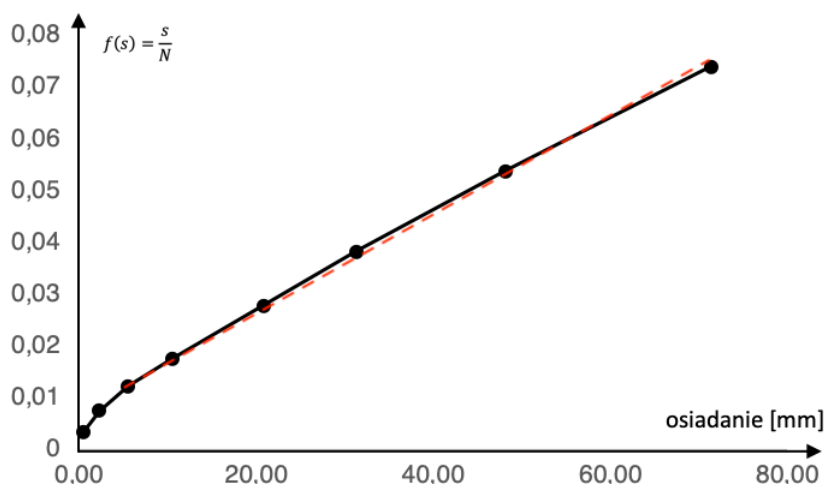
w którym:

$a_1$  – współczynnik kierunkowy prostej  $f(s)$ ,

$b_1$  – wyraz wolny prostej  $f(s)$ ,

$s_i$  – odpowiadające danej pozycji osiadanie.

Dla przykładowego pała wykres wygląda jak na rys. 3:



Rys. 3. Wykres danych do pała wg metody China-Kondnera [opracowanie Autora]

Konstrukcja metody Decourta [9] opiera się na schemacie podobnym do Hansena i China-Kondnera. Wartości otrzymane przez funkcję (9) zestawione są z obciążeniem pała. Punkty, które tworzą charakter liniowy wskazują miejsce przecięcia funkcji z osią poziomą, co wyznacza maksymalną wartość  $N_{gr(Decourt)}$ . Wykres dla przykładowej pała przedstawiono na rys. 4.

$$N = \frac{sC_{2(Decourt)}}{1-sC_{1(Decourt)}} \quad (7)$$

$$N_{gr(Decourt)} = \frac{C_{2(Decourt)}}{C_{1(Decourt)}} \quad (8)$$

$$f(s) = \frac{s_i}{N_i} \quad (9)$$

gdzie:

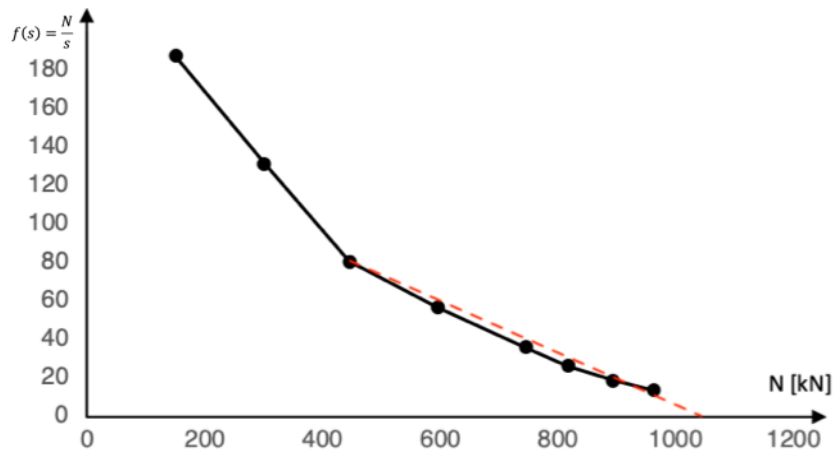
$N$  – obciążenie pała w głowicy,

$s$  – zmierzone osiadanie pała,

$N_{gr(Decourt)}$  – nośność graniczna pała wg Decourta,

$C_{1(Decourt)}$  – współczynnik określający nachylenie odcinka o charakterze liniowym,

$C_{2(Decourt)}$  – wyraz wolny odcinka o charakterze liniowym.



Rys. 4 Wykres danych oraz przecięcie z osią poziomą wyznaczające nośność graniczną pała wg Decourta [opracowanie Autora]

Przedstawione metody nie są jedynymi, które opracowano w celu interpretacji krzywej obciążenie-osiadanie. Wielu Autorów porównywało dużo większy zakres metod oraz otrzymywane dzięki nim wyniki [10, 17, 55]. Do przewidywania przebiegu krzywej obciążenie-osiadanie stosowane są również metody numeryczne [5].

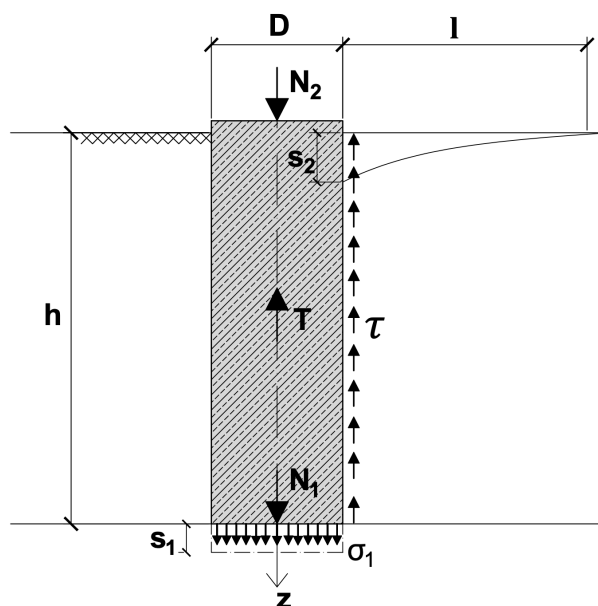
Jedną z metod przedstawiono w rozdziale o projektowaniu pali i jest to metoda normowa z PN-83/B-02482 [82]. Kompleksowo opisane i zebrane metody można znaleźć w [8], w którym specjaliści z Europy przedstawiali sposoby projektowania, sprawdzania nośności, interpretacje badań. Polskie metody to np. graficzna metoda Mazurkiewicza [45, 46].



### 3.3. Opis i uzasadnienie wyboru metody opartej na krzywej obciążenie-osiadanie

Potrzebę rozszerzenia stanu wiedzy na temat metod analitycznych opisujących mechanizm pracy pala przedstawił w roku 2010 Meyer [47]. W publikacji zastosowano liniową teorię Bousinesq'a do wyznaczania wartości osiadania na podstawie sił otrzymanych dzięki badaniom próbnymi obciążeniami statycznymi. Metodę tę w dalszej części nazwano M-K.

Podstawowym założeniem tej metody jest schemat powstawania sił przy obciążaniu pala i jego osiadaniu. Założeniem podstawowym przyjmowanym w metodzie M-K jest schemat odkształcenia spełniający założenie Kirchhoffa. Siła przyłożona do głowicy pala powoduje osiadanie, które wywołuje ugięcie przestrzeni gruntowej dookoła tego pala, co zaprezentowano na rys. 5. Wynikiem tej deformacji są powstające na poboczniczy naprężenie stanowiące opór poboczniczy. Schemat taki był sugerowany również przez innych Autorów [23, 39, 68], natomiast nie sformułowano na tej podstawie matematycznego opisu tego zjawiska.



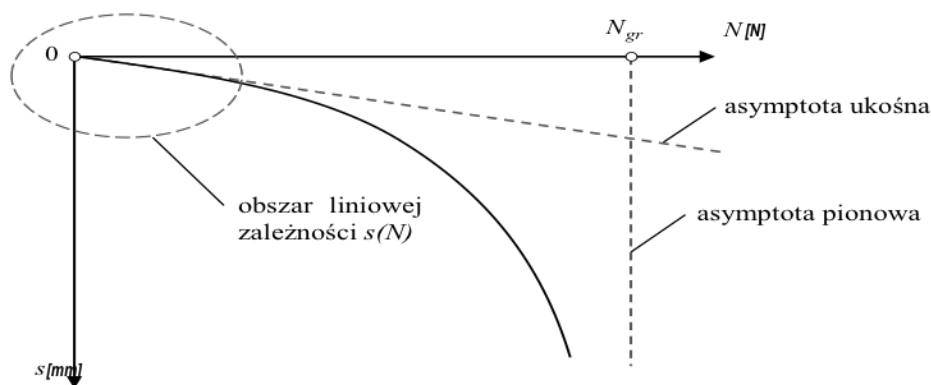
Rys. 5 Schemat odkształcenia gruntu wywołanego osiadaniem pala [opracowanie Autora]

Meyer i Kowalów opracowali metodę analizy krzywej obciążenie-osiadania pala [51]. W swojej pracy wskazali na problem nieosiągania stanu granicznego pala, ponieważ otrzymanie odpowiedniego osiadania jest bardzo trudne ze względu na duże wartości obciążenia, jakim należałoby obciążyć pal. Na problem zbyt małego osiadania zwrócił

też uwagę Szmechel i Meyer [55], a wartość referencyjną  $s = 0,1D$  [m] podawało wielu innych Autorów [7, 8], natomiast pierwsze wskazanie tego związku jest przypisywane Terzaghiemu [74].

Metoda estymacji wartości współczynników M-K była następnie tematem wielu prac z dziedziny geotechniki na ZUT [53, 54]. Podstawowymi współczynnikami są wartości  $\kappa_1, N_{gr1}, C_1$  odpowiadające i opisujące nośność podstawy pała oraz współczynniki  $\kappa_2, N_{gr2}, C_2$  opisujące całkowity udźwig pała, z uwzględnieniem zarówno podstawy i pobocznic. Parametr  $\kappa$  wskazuje proporcję nośności pobocznic do podstawy pała,  $N_{gr}$  jest wartością graniczną nośności, po osiągnięciu której pał zaczyna osiadać w sposób niekontrolowany, natomiast  $C$  stanowi odwrotnością zagregowanego współczynnika Winklera. Współczynnik ten w zastosowaniu do pali przedstawili Siemaszko i Meyer [69].

Danymi wejściowymi otrzymywanymi podczas badań eksperymentalnych są pary liczb  $\{N_i; s_i\}$ . Stosując metody statystyki matematycznej, na podstawie otrzymanych wyników wyznacza się współczynniki krzywej M-K, co było wielokrotnie opisywane w literaturze [47, 49, 55, 58, 79].



Rys. 6 Schemat krzywej M-K z asymptotami oraz zaznaczonym obszarem zależności liniowej obciążenia od osiadania [51]

Związki matematyczne między poszczególnymi współczynnikami metody M-K są następujące:

$$s = C \cdot N_{gr} \cdot \frac{\left(1 - \frac{N}{N_{gr}}\right)^{-\kappa} - 1}{\kappa} \quad (10)$$

$$N_{gr1} = \frac{N_{gr2}}{(1 + \kappa_2)^2} \quad (11)$$

Dodatkowe związki, które opisują charakter krzywej to [79]:

$$\frac{c_1}{c_2} = (1 + \kappa_2)^2 \quad (12)$$

w którym:

$\kappa_2$  – wartość określana podczas aproksymacji metodą Meyera-Kowalowa oraz wzory podane w dalszej części pracy (14)-(17)

$$\kappa_1 = \ln(1 + \kappa_2) \quad (13)$$

w którym:

$s$  – wartość osiadania otrzymywana wzorem (10) [mm],

$N_{gr2}$  – nośność graniczna pała uwzględniająca nośność poboczniczy i podstawy pała, przy której pał zaczyna osiadać w sposób niekontrolowany [kN],

$N_{gr1}$  – nośność graniczna podstawy pała, przy której pał zaczyna osiadać w sposób niekontrolowany [kN],

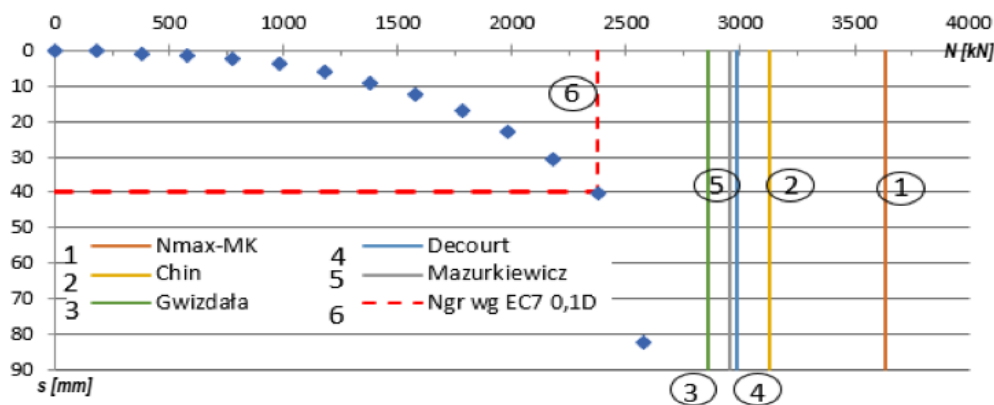
$\kappa_2, \kappa_1$  – bezwymiarowy współczynnik przedstawiający proporcje między oporem poboczniczy i podstawy pała, otrzymywany za pomocą statystyki matematycznej.

Krzywa M-K spełnia dodatkowe warunki brzegowe:

- dla  $N \rightarrow 0$  ma asymptotę ukośną
- dla  $N \rightarrow N_{gr}$  ma asymptotę pionową

Na rys. 6 pokazano schemat krzywej M-K z zaznaczonymi asymptotami ukośną oraz pionową, zaznaczonym liniowym odcinkiem zależności tzn. dla którego związek obciążenie osiadanie gruntu ma charakter liniowy (liniowa teoria sprężystości) oraz dalszym przebiegiem ekstrapolowanym za pomocą metodologii metody M-K. Maksymalna siła przyłożona podczas testu statycznego nie zawsze mobilizuje w pełni naprężenia, które powstają pod podstawą pała. Dzięki metodzie M-K możliwa jest ekstrapolacja krzywej obciążenie-osiadanie i sprawdzenie, kiedy pał zacznie osiadać w sposób niekontrolowany, co oznacza, że został przekroczony stan graniczny.

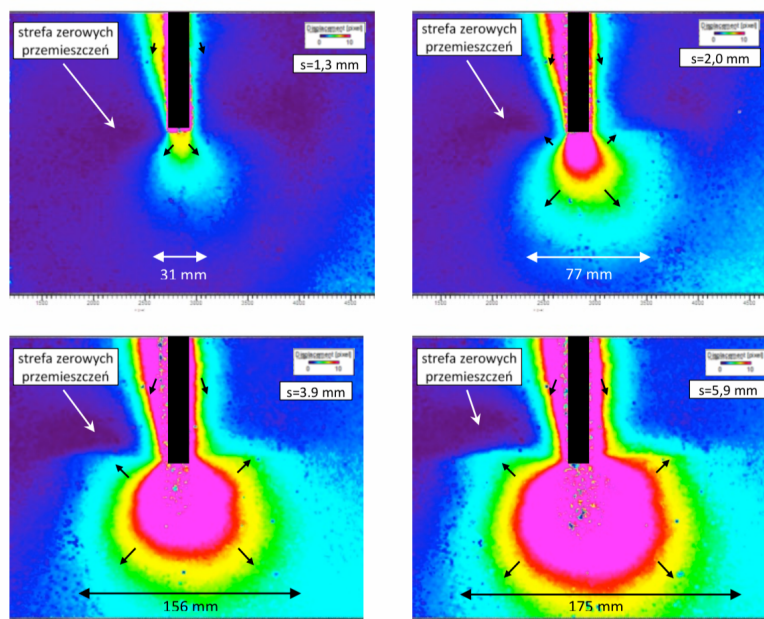
Szmechel w swoich pracach dokonał analizy wielu przypadków i rozbudował bazę wyników próbných obciążeń statycznych [71]. Na rys. 7 widać porównanie różnych metod analizy krzywej obciążenie-osiadanie oraz rozbieżności między maksymalnymi siłami otrzymywanymi dzięki różnym podejściom obliczeniowym.



Rys. 7 Porównanie wartości granicznego udźwigu pała wg różnych podejść obliczeniowych [69]

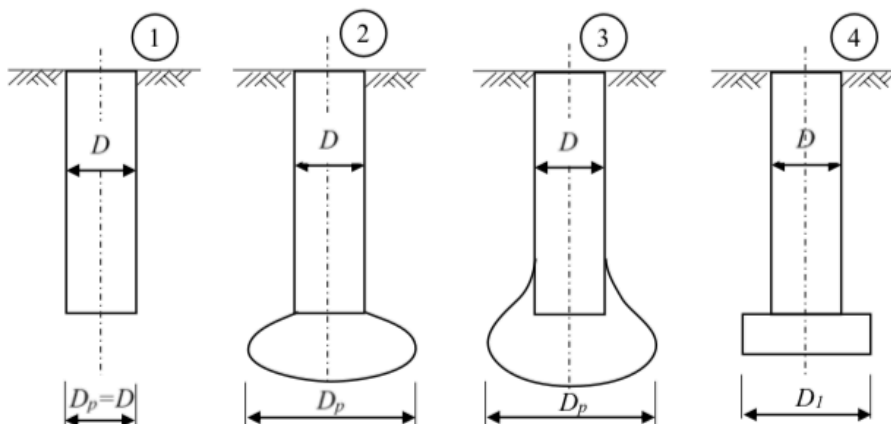
Osiadanie referencyjne przedstawiono w pracy [52] przez Meyera i Kowalowa równe  $s = 0,1D$  [m], gdzie  $D$  jest średnicą pała. Wielu innych Autorów wskazywało tę wartość jako graniczną. Osiągnięcie takich wartości osiadania nie zawsze jest możliwe, ze względów technicznych. Stąd próby opracowania metod ekstrapolacji krzywej obciążenie-osiadanie i ciągłe prace nad uszczegółowieniem metody M-K.

Żarkiewicz i Meyer [56, 57, 79] w swoich badaniach laboratoryjnych, przedstawili zachowanie się gruntu pod podstawą pała. Wykonane badania fotogrametryczne, przedstawione na rys. 8, pokazują, że pod pałem tworzy się strefa gruntu zwiększająca docisk gruntu do pobocznic pała. Wyniki badań były sygnałem, że należy uwzględnić ten sposób współpracy pała z gruntem w obliczeniach metodą M-K. Propozycję uwzględnienia podali Siemaszko i Meyer w pracy [69], w której wprowadzono opis wartości współczynnika  $\kappa$ , w zależności od schematu współpracy pała z gruntem. Współczynniki  $C_1, C_2$  krzywej M-K przedstawiono jako zagregowana odwrotność współczynników Winklera. Oznacza to, że ich wartości uwzględniają współpracę gruntu dookoła pała zarówno w podstawie jak i pobocznic. Jest to odpowiednie podejście, ponieważ nie powinno się traktować gruntu jako materiału konstrukcyjnego, który można przedstawić w sposób analogiczny do np. betonu.



Rys. 8 Badania fotogrametryczne wykonane przez Żarkiewicza obrazujące formowanie się gruntu przy obciążaniu pała w głowicy [79]

Na rys. 9 pokazano schematy formowania się gruntu pod podstawą pała, natomiast wzory (14)-(17) przedstawiają wartości współczynnika  $\kappa_2$  dla każdego z pokazanych schematów.



Rys. 9 Schemat współpracy pała z gruntem [69]

Ad. 1:

$$\kappa_2 = \left[ \frac{4\beta}{3,68} \cdot \left(\frac{h}{D}\right)^{0,785} \cdot \frac{\bar{q}_c}{q_b} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{4}q_b^{\frac{1}{3}}} \right]^{1/2} - 1 \quad (14)$$

Ad. 2

$$\kappa_2 = \left[ \frac{4\beta}{3,68} \cdot \left(\frac{h}{D}\right)^{0,785} \cdot \frac{\bar{q}_c}{q_b} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{2q_b}{1+q_b}\right) \left(1 + \frac{1}{4}q_b^{\frac{1}{3}}\right)} \right]^{1/2} - 1 \quad (15)$$

Ad. 3

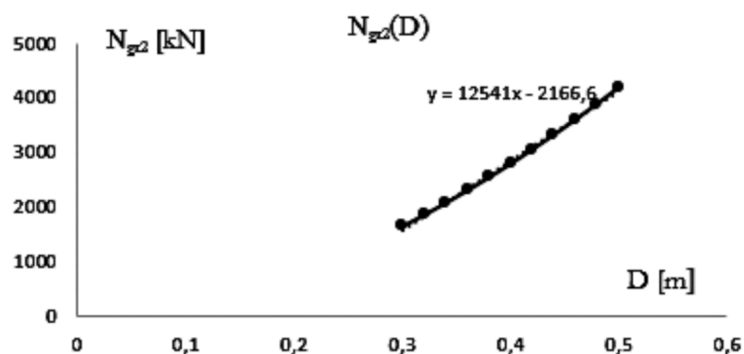
$$\kappa_2 = \left[ \frac{4\beta}{20,86} \cdot \left(\frac{h}{D}\right)^{0,785} \cdot \frac{\bar{q}_c}{q_b} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{4}q_b^{\frac{1}{3}}} \right]^{3/5} \quad (16)$$

Ad. 4

$$\kappa_2 = \left[ \frac{4\beta}{3,68} \cdot \left(\frac{h}{D}\right)^{0,785} \cdot \frac{\bar{q}_c}{q_b} \cdot \frac{D}{D_1} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{4}q_b^{\frac{1}{3}}} \right]^{1/2} - 1 \quad (17)$$

Weryfikacja wzorów w praktycznych obliczeniach wskazuje, iż najlepszą zgodność otrzymano wzorem (16), co by oznaczało, że pod podstawą pała tworzy się obszar strefy uplastycznionego gruntu, na co wskazują również badania Żarkiewicza [79].

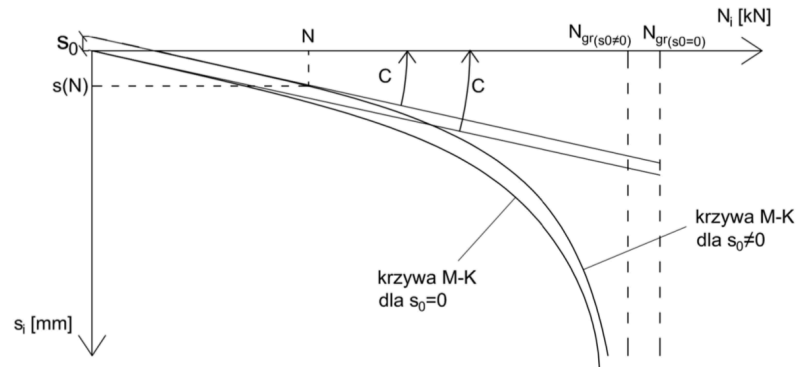
W dziedzinie geotechniki na WBiŚS prowadzone są badania oparte na metodzie krzywej M-K. Stachecki i Meyer [58] opracowali metodę konwersji krzywej przy zmianie średnicy pała. Dzięki takiemu narzędziu możliwe jest bardzo szybkie sprawdzenie możliwości zmiany posadowienia w warunkach, w których test próbnymi obciążeniami statycznymi da nieoczekiwane rezultaty. Na rys. 10 podano zależność między zmianą średnicy pała i siły otrzymaną dzięki tej metodzie.



Rys. 10 Zmiana wielkości średnicy pała wraz ze zmianą udźwigu pała [58]

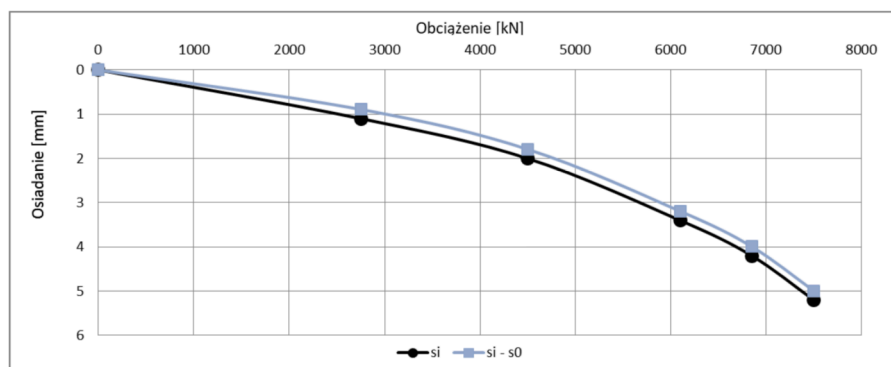
Wasiluk i Meyer [59, 60] prowadzili badania nad wykorzystaniem metody M-K do określenia niedokładności, które mogą wystąpić podczas przygotowywania i wykonywania samego testu. Zauważyli, że przy wykonywaniu próbnego obciążenia pała mogą występować wstępne wartości osiadania, przy których pał się stabilizuje

i zostaje dociśnięty w gruncie. Dopiero po tym wstępnym przemieszczeniu następuje właściwe osiadanie spowodowane stopniowym obciążeniem. Założono różnice w przebiegu krzywej obciążenie-osiadanie pokazane na rys. 11.



Rys. 11 Teoretyczna różnica przebiegu krzywej obciążenie-osiadanie z uwzględnieniem  $s_0$  [56]

Analiza rzeczywistych wyników eksperymentalnych (rys. 12) potwierdziła tezę, że jest to różnica, którą należałoby uwzględnić.

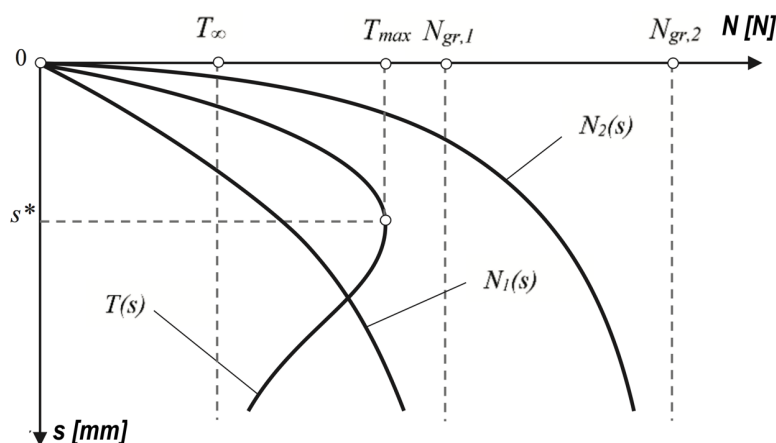


Rys. 12 Różnica wyników eksperymentalnych z uwzględnieniem w obliczeniach  $s_0$  [56]

W publikacji [69] Siemaszko i Meyer przedstawili analizę rozkładu naprężenia na poboczniczy pała przy wykorzystaniu metody M-K. Analiza wykonana przez Autorów jest oparta jest na wynikach badań statycznymi próbnymi obciążeniami wykonanymi w terenie z oprzyrządowaniem umożliwiającym pomiar rozkładu sił pionowych na całej długości trzonu pała. Dzięki takiej analizie możliwe jest przedstawienie rozkładu, opierając się jedynie na krzywej obciążenie-osiadanie, bez konieczności użycia dodatkowych urządzeń pomiarowych, które są kosztowne, a interpretacja wyników również staje się problematyczna, szczególnie w gruncie uwarstwionym. Niniejsza rozprawa stanowi dalszy ciąg prac prowadzonych w tym kierunku. Dokładny proces obliczeniowy będzie przedstawiony w dalszej części pracy. Zaletą metody M-K jest

możliwość otrzymania rozkładów przedstawionych również przez innych Autorów [7, 30, 31]. Jak wspomniano wcześniej krzywa M-K jest uogólnieniem krzywej China-Kondnera, gdy  $\kappa = 1$ . Krzywa M-K pozwala również na otrzymanie ekstremum rozkładu normalnej składowej oporu pala, tj. oporu pobocznicy, gdy występuje taki schemat pracy pala.

Na rys. 13 wykorzystano wcześniejsze wyniki badań, które pozwalają na rozdzielenie krzywej obciążenie-osiadanie na krzywe składowe: oporu pobocznicy oraz oporu podstawy w zależności od osiadania.



Rys. 13 Przykład krzywej M-K z podziałem na składowe nośności pala, przedstawieniem pionowej asymptoty  $N_{gr,2}$  oraz osiągniętego ekstremum przy rozkładzie oporu pobocznicy  $T(s)$  [50]

### 3.4. Normowe metody projektowania pali fundamentowych

Za podstawową funkcję pala można przyjąć obciążenie siłą głowicy w osi pala. Takie właśnie przypadki rozpatrywane są w niniejszej pracy. W odpowiedzi na takie obciążenie powstaje opór pod podstawą pala oraz następuje deformacja gruntu dookoła pala (rys. 14), wskutek czego pobocznica również przenosi obciążenia [47, 50]. Ogólnie nośność można opisać jako sumę udźwigu podstawy i pobocznicy:

$$R_{c;k} = R_{b;k} + R_{s;k} \quad (18)$$

gdzie

$R_{c;k}$  – charakterystyczna nośność całkowita pala,

$R_{b;k}$  – charakterystyczna nośność podstawy pala,

$R_{s;k}$  – charakterystyczna nośność pobocznicy pala.

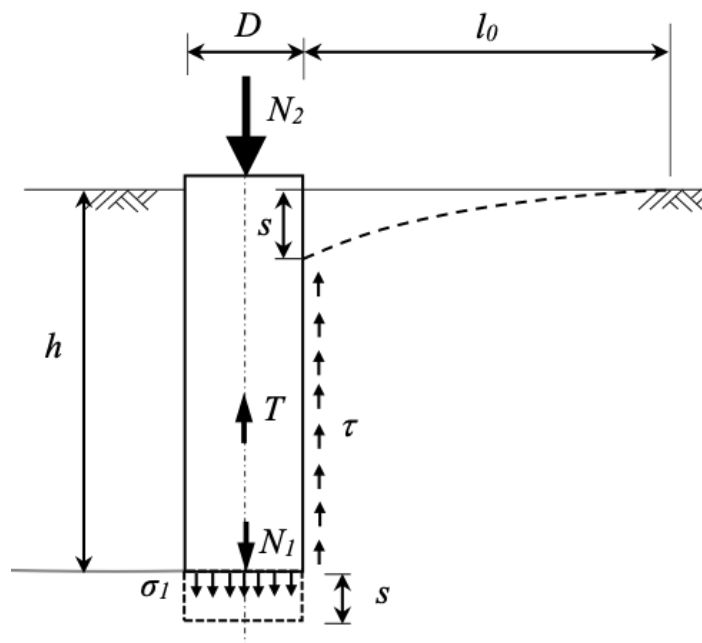


Do otrzymania wartości obliczeniowych stosuje się poniższy wzór:

$$R_{c;d} = \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s} \quad (19)$$

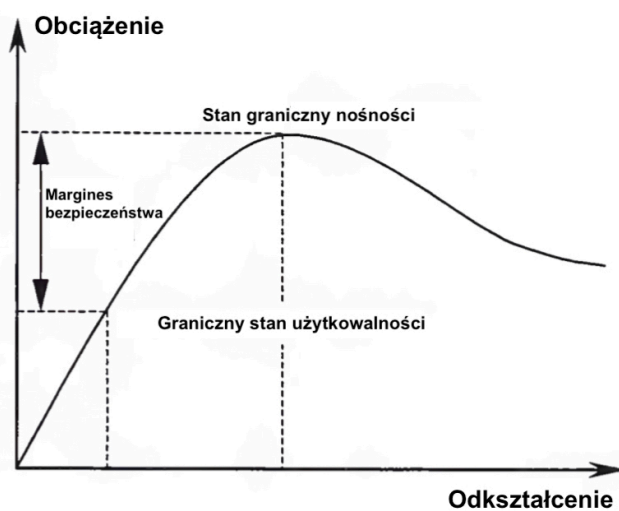
w którym:

$\gamma_b, \gamma_s$  – współczynniki nośności podawane w załącznikach krajowych.



Rys. 14 Deformacja gruntu pod wpływem obciążenia w osi pała oraz powstające siły [79]

W normie PN-EN-1997-1-2008 [83] wyszczególniono dopuszczalne podejścia do projektowania posadowień pośrednich. Koncepcja projektowania opiera się na wykazaniu, że nie zostały przekroczone stany graniczne. Wykres na rys. 15 obrazuje koncepcję kolejnych stanów granicznych pała.

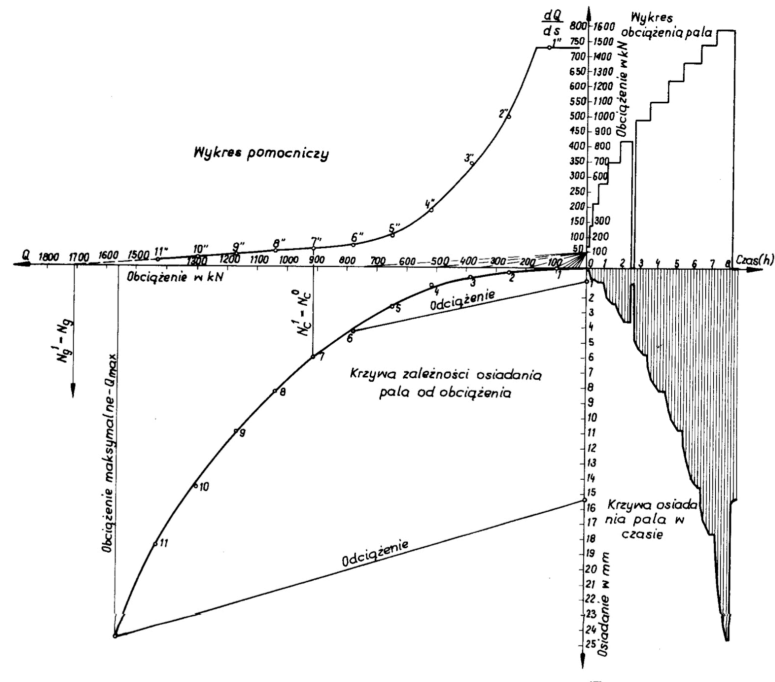


Rys. 15 Przebieg stanów granicznych pała [68]

Szczególnie podkreśla się konieczność empirycznej weryfikacji rozwiązania poprzez wykonanie próbnych obciążeń statycznych, próbnych obciążeń dynamicznych bądź obserwację porównywalnych rozwiązań. Obserwacja wydaje się być sposobem najtrudniejszym do zrealizowania. Badania nośności pali, nawet w niepełnym zakresie, a przy użyciu odpowiednich metod ekstrapolacji otrzymanych krzywych, pozwalają jednoznacznie określić możliwości udźwigu pali. Obserwacje muszą być zaplanowane z uwzględnieniem czynników, które nie zawsze są przewidywalne. Ze względu na zjawiska zachodzące na w samym palu i dookoła niego w gruncie, wnioski z obserwacji mogą być nietrafione.

W związku z brakiem wymogów zastosowania konkretnych metod obliczeniowych projektanci przejmują na siebie całą odpowiedzialność za powodzenie prac. To czynnik, który wymusza bardziej skrupulatne podejście to analizy warunków, w których wykonywane są fundamenty oraz konieczność ciągłej aktualizacji wiedzy na temat najnowszych rozwiązań. Zadanie, które aktualnie stoi przed projektantami, należy do bardzo trudnych. Potrzebne jest bardzo duże doświadczenie teoretyczne i praktyczne, żeby móc dobrze dopasować obliczenia do sytuacji projektowej. Omawiany problem opisali Gwizdała oraz Krasieński [29]. To również pole do wykorzystania w pracach badawczych, które znacząco wpływają na rozwój wiedzy w omawianym zakresie i mogą być bardzo pomocne dla projektantów i wykonawców.

Bardzo istotnym warunkiem, powtarzającym również przez wielu Autorów wskazywanych wcześniej [8, 23, 68], jest fakt, że pal osiąga maksymalny udźwig przy osiadaniu równym  $0,1D$ , gdzie  $D$  to średnica pala. Utrudnieniem występującym przy weryfikacji takiego założenia są trudności w osiągnięciu takiej wartości osiadania przy badaniu próbnych obciążeń statycznych na budowie [29, 52]. W związku z tym istnieje potrzeba stosowania metod pozwalających odpowiednio interpretować wyniki badań. Problem ten będzie omówiony w innym rozdziale niniejszej rozprawy. Warto jednak wspomnieć o normie, w której proces obliczeniowy był omówiony szczegółowo, a mianowicie PN-83/B-02482 [82]. Dzięki opisanej tam metodzie ekstrapolacji, można, stosując metodę graficzną różniczkowania krzywej  $Q-s$  wyznaczyć wartość nośności granicznej pali, sporządzając wykres pomocniczy  $dQ/ds$ , a następnie sprawdzić punkt przecięcia z wykresem, co daje w wyniku wartość nośności granicznej pala.



Rys. 16 Metoda ekstrapolacji krzywej obciążenie-osiadania PN-83/B-02482 [82]

W normie PN-83/B-02482 [82] ogólny warunek, który musiały spełniać pale jest następujący:

$$Q \leq mN \quad (20)$$

gdzie:

$$Q = \gamma_f \cdot Q_n \quad (21)$$

$Q\gamma$  – obliczeniowa wartość obciążenia,

$\gamma_f$  – współczynnik obliczeniowy nośności,

$Q_n$  – obciążenie charakterystyczne,

$m$  – parametr korygujący, który wynosił  $m=0,9$  dla pali fundamentowych; dla pali pojedynczych wynosił  $m=0,7$ , natomiast dla grup pali  $m=0,9$ ,

$N$  – nośność pala.

Niejednorodność gruntu została uwzględniona przez zastosowanie współczynnika materiałowego  $\gamma_m$ . Końcowy wzór do wyznaczania nośności wciskanego pala jest następujący:

$$N_t = N_p + N_s = S_p q^{(r)} A_p + \sum S_{si} t_i^{(r)} A_{si} \quad (22)$$

gdzie:

$$q^{(r)} = \gamma_m q \quad (23)$$

$$t^{(r)} = \gamma_m t \quad (24)$$

$i$  – zależne od liczby warstw w gruncie,

$q$  – jednostkowy opór podstawy,

$t$  – jednostkowy opór tarcia o pobocznice pala z tablicy nr 2 na stronie 4 normy PN-83/B-02482 [82],

$S_p, S_s$  – współczynniki uwzględniające warunki inżynierskie,

$\gamma_m$  – współczynnik zależny od stopnia zagęszczenia  $I_D$ , lub stopnia plastyczności  $I_L$  gruntu,  $\gamma_m < 1$ , wyznaczony wg normy PN-81/B-03020 [81].

W zależności od warunków gruntowych, jednostkowe opory podstawy oraz poboczniczy pala podano w tabelach. Przykładowa tabela (tabela 1) poniżej:

Tabela 1. Wartości oporów jednostkowych pod podstawą pala z normy PN-83/B-02482 [82]

Nazwa gruntu	Opór jednostkowy			
	Stopień zagęszczenia			
	$I_D=1,00$	$I_D=0,67$	$I_D=0,33$	$I_D=0,20$
Żwir, pospółka	7750	5100	3000	1950
Piasek gruby i średni	5850	3600	2150	1450
	Stopień plastyczności			
	$I_L < 0; w=0$	$I_L=0; w=w_p$	$I_L=0,50$	$I_L=0,75$
Żwir gliniasty, pospółka gliniasta	4150	2750	1650	850
Piasek gliniasty, glina piaszczysta, glina pylasta	2750	1950	850	450

Ponadto wartość jednostkowego oporu zależna jest od głębokości krytycznej wyznaczonej wg wzoru:

$$h_{ci} = h_c^0 \sqrt{D_i/D_0} \quad (25)$$

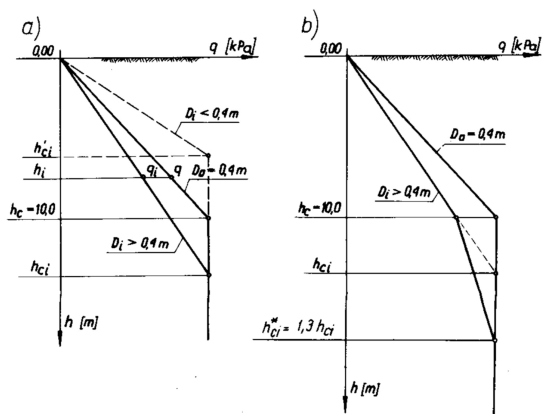
gdzie:

$$h_c^0 = 10 \text{ m} \quad (26)$$

$$D_0 = 0,4 \text{ m} \quad (27)$$

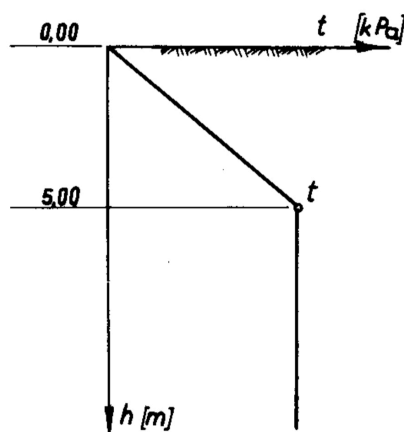
$D_i$  – średnica analizowanego pala.

Jeżeli otrzymana wartość była mniejsza od  $h_c$ , wykonywano interpolację liniową na podstawie diagramów przedstawionych na rys. 17.



Rys. 17 Diagramy wyznaczania wartości oporu jednostkowego  $q$  w zależności od głębokości  $h_c$  w normie PN-83/B-02482 [82]

Wyznaczanie nośności oporu poboczniczy odbywa się wg diagramu na rys. 18.



Rys. 18 Diagram do wyznaczania oporu jednostkowego w zależności od zagłębienia pala wg normy PN-83/B-02482 [82]

Metoda niemiecka przedstawiona przez R. Katzenbacha oraz Chr. Moormanna [8] opiera się na tezie, że moment, w którym krzywa obciążenie-osiadanie zmienia gwałtownie swój przebieg, jest jednocześnie momentem maksymalnego wykorzystania nośności pala. Potwierdzono również, że określenie jednoznacznie maksymalnego wyczerpania pala jest bardzo trudne do określenia. Podano wartości referencyjne osiadania dla dwóch technologii pala.

$s = 2,0\text{ mm}$  dla pali wierconych

$s = 0,25 \cdot D_f$  dla pali prefabrykowanych wbijanych

Wyznaczanie przebiegu krzywej obciążenie-osiadanie opiera się na jednostkowych oporach podstawy oraz poboczniczy pala wyznaczonych na podstawie

wcześniej wykonanych próbnych obciążeń statycznych pali wierconych. Pokazane jest to w tabelach: 2 oraz 3.

Tabela 2. Jednostkowy opór opór podstawy  $q_{bk}$  w zależności od współczynnika osiadania  $s/D$  i średniego oporu pod podstawą sondy CPT  $q_{ck}$  wg normy niemieckiej DIN4014 [80]

współczynnik osiadania $s/D$	charakterystyczny jednostkowy opór podstawy $q_{bk}$ [MN/m <sup>2</sup> ]			
	dla średniego oporu stożka CPT $q_{ck}$ [MN/m <sup>2</sup> ]			
	10	15	20	25
0,02	0,70	1,05	1,40	1,75
0,03	0,90	1,35	1,80	2,25
0,1= $s_g$	2,00	3,00	3,50	4,00
wartości pośrednie można otrzymywać interpolacją liniową				

Tabela 3. Charakterystyczna wartość oporu jednostkowego poboczniczy pala  $q_{s1k}$  w zależności od oporu stożka sondy CPT wg normy niemieckiej DIN4014 [80]

opór jednostkowy badania CPT [MN/m <sup>2</sup> ]	charakterystyczny opór poboczniczy $q_{s1k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
0	0
5	0,04
10	0,08
>15	0,12
wartości pośrednie można otrzymywać interpolacją liniową	

Używając podanych wartości można przejść do wyznaczenia składowych nośności pala. Nośność podstawy pala:

$$R_{bk}(s) = q_{s1k}(s) \cdot \frac{\pi \cdot D_f^2}{4} \quad (28)$$

Graniczne osiadanie pala do osiągnięcia maksymalnej nośności podstawy ponownie określano jako:

$$s_g = 0,10 \cdot D \quad (29)$$

Opór poboczniczy pala:

$$R_{s1k} = \pi \cdot D \cdot \sum (q_{s1k} \cdot l_i) \quad (30)$$

Autorzy normy wskazują, że nośność poboczniczy rośnie liniowo wprost proporcjonalnie do stosunku  $s/D$  do momentu osiągnięcia maksymalnego osiadania według wzoru

$$s_{sg} = 0,5 \cdot R_{s1k} [MN] + 0,5 \text{ cm} \geq 3,0 \text{ cm} \quad (31)$$

Ostateczny wzór służący do wyznaczenia przebiegu krzywej obciążenie-osiadanie według metody niemieckiej jest następujący:

$$R_k(s) = R_{bk}(s) + R_{sk}(s) = q_{sk}(s) \cdot \frac{\pi \cdot D_f^2}{4} + \pi \cdot D \cdot \sum(q_{silk} \cdot l_i) \quad (32)$$

Jako maksymalną nośność pala, przy osiadaniu  $s_g = 0,10 \cdot D$  przyjęto wzór:

$$R_{1k}(s) = R_{bk}(s_g) + R_{sk}(s_g) = q_{sk}(s_g) \cdot \frac{\pi \cdot D_f^2}{4} + \pi \cdot D \cdot \sum(q_{si1k} \cdot l_i) \quad (33)$$

Autorzy normy wskazują, że według wykonanych analiz, osiadanie potrzebne do pełnej mobilizacji pobocznicy pala to 1-2 cm, podczas gdy nośność podstawy rośnie do osiadania na poziomie 10 cm. Sugerują oni, że istnieje możliwość określenia zależności między nośnością pobocznicy pala a maksymalnym udźwigniem pala, ponieważ z wzrastającą średnicą rośnie maksymalny udźwign podstawy, a co za tym idzie, całego pala. Wraz z tym wzrostem, maksymalne osiadanie potrzebne do mobilizacji pełnej nośności pobocznicy pala również będzie większe.

Przy okazji projektowania pali fundamentowych oraz ich wytyżenia, czy też wykorzystania w pełni możliwości nośnych warto wspomnieć o stanach granicznych, które są rozważa się przy projektowaniu. Oprócz stanu granicznego nośności, projektanci biorą również pod uwagę stan graniczny użyteczności [23, 82, 83]. Inwestorzy, w odniesieniu do niektórych inwestycji, życzą sobie ograniczenia osiadania fundamentów. Zbyt duże osiadania mogą powodować zwiększoną deformację budowli, co może wpływać na jej estetykę lub też, w niektórych przypadkach, na użyteczność samej budowli. Stąd pale bywają znacząco przeprojektowywane z punktu widzenia ich nośności i jednocześnie spełniają warunki odgórnie narzucone na projektantów. Niestety to z kolei generuje kolejne problemy w weryfikacji nośności granicznej, a także w prowadzeniu badań, pozwalających sprawdzić maksymalny udźwign pala.

Dwa zaprezentowane przez Autora stanowiska względem opisywanego problemu są bardzo podobne, ponieważ wskazują na wartość jednostkowego oporu, który ma być przyjęty jako wartość projektowa. Jest to podejście mocno uproszczone. Po przeanalizowaniu schematu formowania się oporu na pobocznicy i pod podstawą pala, co przedstawiono w literaturze w pracach [56, 57, 79], widać, że jednoznaczne stwierdzenie dotyczące wartości jednostkowego oporu pobocznicy czy podstawy, nie uwzględnia wielu czynników. Powstawanie strefy gruntu uplastycznionego po obciążeniu pala, przybierającego formę gruszki, co pokazano w badaniach fotogrametrycznych [79], ukazuje mechanizm, który ma znaczny wpływ na nośność pala. Ze względu na to, że Eurokody nie narzucają odgórnie sposobów wyznaczania nośności pali, możliwe jest opieranie się na wielu dostępnych opracowaniach.

## **3.5.Próbné obciążenia statyczne**

### **3.5.1. Przegląd metod badawczych**

Wykonywanie badań nośności pali fundamentowych jest bardzo kosztowne. Badania nie należy wykonywać zbyt wcześnie po wykonawstwie pala, minimalny czas jaki powinien upłynąć to 28 dni.

W projekcie posadowienia pośredniego wykonanie takich badań powinno być brane pod uwagę i stać się częścią każdego zawieranego kontraktu. Jest to zabezpieczenie zarówno dla wykonawcy, jak i dla inwestora, że prace wykonano poprawnie, wg założeń oraz warunków brzegowych ustalonych przy zawieraniu umowy.

W przypadku, gdy nośności pali okazałyby się znacznie większe niż zaprojektowane, istniałaby możliwość, że inwestor mógłby sprzeciwić się przyjęciu wykonania danych robót po określonych w umowie cenach. Posadowienie pośrednie stosuje się w szczególnych przypadkach i stanowi ono znaczny koszt w stosunku do całej budowy. Nie można jednak na tym etapie oszczędzać. Na pewno roboty te muszą być wykonane właściwie, zarówno jeśli chodzi o kwestie techniczne, jak i ekonomiczne.

Technologie pali różnie wpływają na grunt, w którym wykonuje się prace z ich zastosowaniem. Szczególnie pale wiercone po upływie czasu mogą zyskiwać lub tracić na początkowo uzyskanej nośności [23]. Stąd sugestia, żeby wykonywać próbné statyczne obciążenia po około 2-3 tygodniach.

Zakres wykonywanych badań dopasowywany jest do warunków, w których są one przeprowadzane. Można sprawdzać poprawność wykonywania pali i ich nośność [10, 27], można stosować dodatkowe oprzyrządowanie do pomiaru, np. rozkładu nośności na pobocznicę pala [22, 25, 42], można również ograniczyć się do pomiarów w celu sprawdzenia jakości wykonanych pali. W odniesieniu do pali powinno rozważać się dwa aspekty w analizie problemu:

- ciągłość struktury wykonanego pala oraz jego zdolność do przeniesienia założonego obciążenia,
- deformacja oraz zachowanie pala po obciążeniu.

Istnieje duże prawdopodobieństwo, że błąd przy pojedynczych palach może mieć znaczący wpływ na zachowanie całego fundamentu. W celu sprawdzenia jakości wykonanych pali można ograniczyć się do badań niepowodujących zniszczeń. Zdarza się, że stosuje się pale próbné przed wykonywaniem inwestycji, które są oprzyrządowane.



Wykonuje się na nich badania metodą próbnego obciążenia statycznego. Należy zwracać uwagę, by badane pale miały takie same parametry, jak pale stosowane w projektowanym posadowieniu. W niniejszej pracy opisano metody napotkane w literaturze oraz badanie, na którym są opierane analizy obliczeniowe przedstawione w niniejszej pracy.

Otrzymanie przebiegu krzywej obciążenie-osiadanie jest w niektórych przypadkach bardzo trudne ze względu na brak możliwości osiągnięcia maksymalnego obciążenia, który pał może przenieść poprzez dociążanie [30, 55].

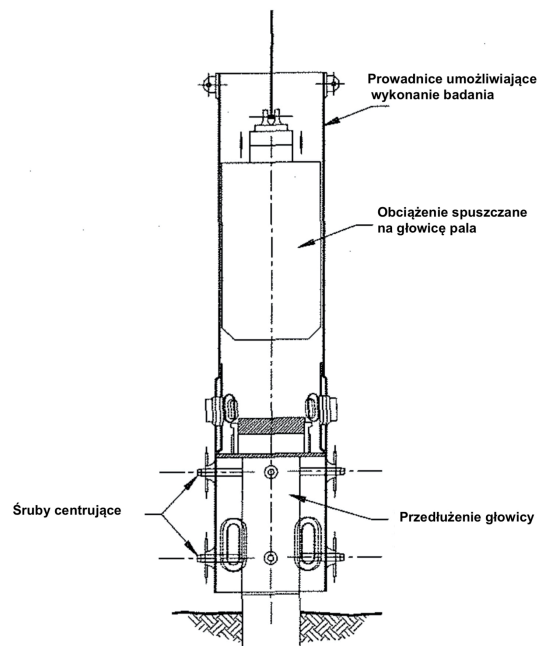
Badania dynamiczne pozwalają na nieniszczące sprawdzenie udźwigu pała. Początkowo były one stosowane jedynie przy prefabrykowanych pałach wbijanych, jednak rozwój badań pozwala na rozszerzenie ich zastosowania również na pale wiercone, o czym pisali Gwizdała i Brzozowski [28]. Według zaleceń jednak nie powinno się badań nośności opierać tylko na eksperymentach dynamicznych. Na jedno z 5-10 badań dynamicznych należy wykonywać badanie obciążeniem statycznym [28]. Badanie dynamiczne polega na przykładaniu ciężaru do głowicy pała przy zastosowaniu ciężaru na prowadnicach. Dzięki temu sprawdzana jest prędkość oraz siła fali przechodzącej przez pał i za pomocą analiz obliczeniowych uzyskiwane są czytelniejsze rezultaty. Badania typu *high-strain* służą do weryfikacji nośności, natomiast *low-strain* do badania ciągłości pała [34, 35]. Stanowisko oraz głowicę przy badaniu dynamicznym pokazano na rys.19 i rys. 20 wraz ze schematem na rys. 21.



Rys. 19 Stanowisko do badania dynamicznego [84]



Rys. 20 Głowica przygotowania do badania dynamicznego [84]



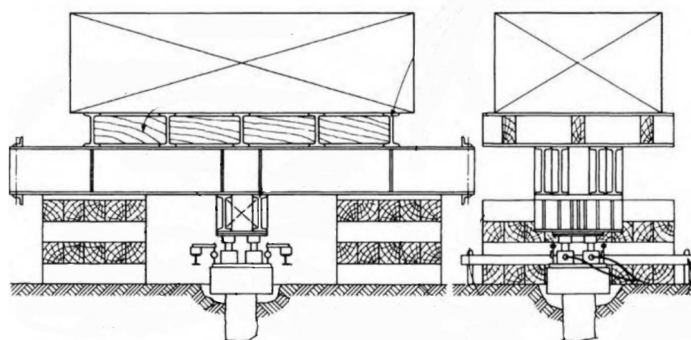
Rys. 21 Przykładowy schemat stanowiska do badania dynamicznego pala [34]

Wyniki otrzymywane podczas badań dynamicznych wymagają bardziej rozbudowanego aparatu obliczeniowego niż przy np. badaniu obciążeniami statycznymi, w celu wyznaczenia nośności granicznej pala.

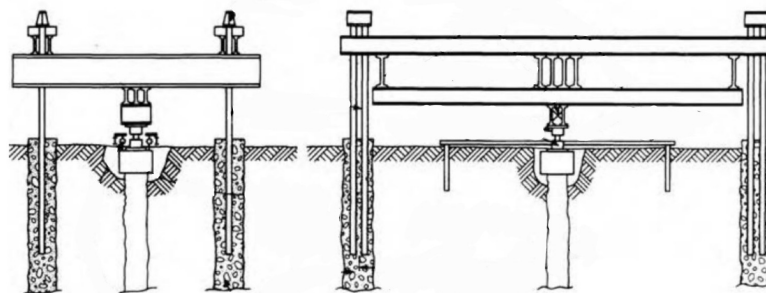
### 3.5.2. Metoda próbnych obciążeń statycznych

Najczęściej stosowaną metodę badań stanowi obciążanie oraz odciążanie pala do momentu osiągnięcia niekontrolowanego osiadania, bądź nośności granicznej. Schematy wykonywania takich badań były regulowane przez normy krajowe, ale ogólny schemat jest podobny we wszystkich przypadkach. Pomiar siły odbywa się za pomocą czujników, a ich odczyty zapisywane są w komputerach. Zależnie od stosowanego sprzętu dużym problemem może być pomiar osiadania, o czym pisze Gwizdała [25].

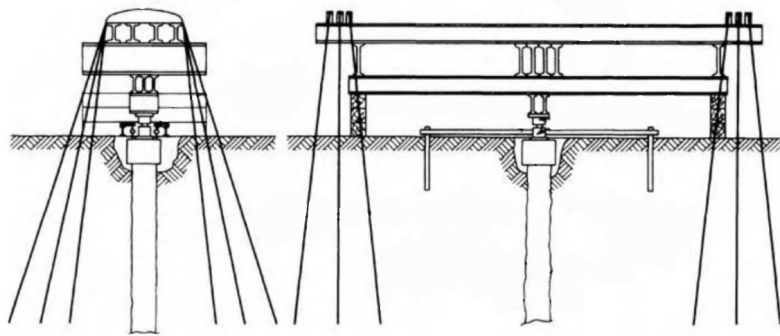
Stanowisko do tego rodzaju badań może być przygotowane na kilka sposobów (rys. 22, rys. 23, rys. 24). Mogą być wykorzystane pale kotwiące, do których zamocowano konstrukcję i całość stanowi opór do obciążenia za pomocą siłownika.



Rys. 22 Schemat stanowiska przy zastosowaniu obciążenia na konstrukcji [76]

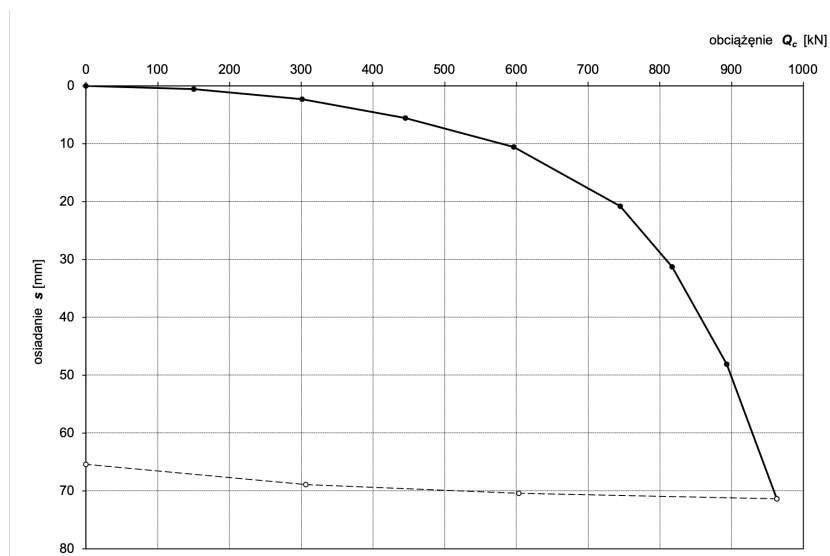


Rys. 23 Schemat stanowiska przy zastosowaniu pali kotwiących [76]



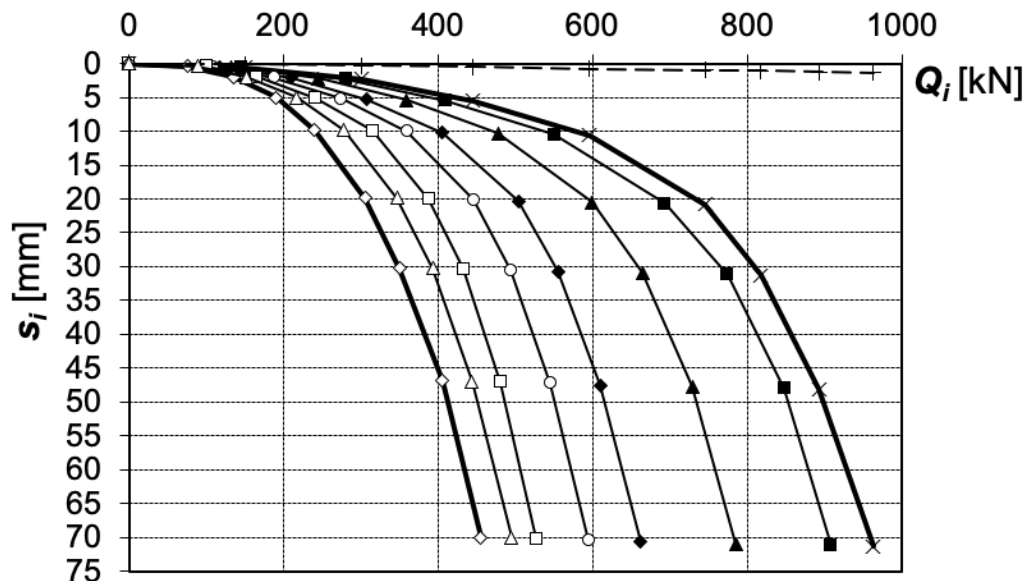
Rys. 24 Schemat stanowiska przy zastosowaniu prętów kotwiących [76]

Podstawowym sposobem interpretacji otrzymywanych wyników jest krzywa obciążenie-osiadanie, której schemat pokazano na rys. 25. Dzięki badaniu jej przebiegu możliwe jest opracowanie metod służących do ekstrapolacji krzywych przy większych obciążeniach, gdy niemożliwe jest osiągnięcie nośności granicznej. Krzywa stanowi przedstawienie wartości liczbowych, które są otrzymywane podczas badania i stają się one gotową bazą danych do przeprowadzania analiz.

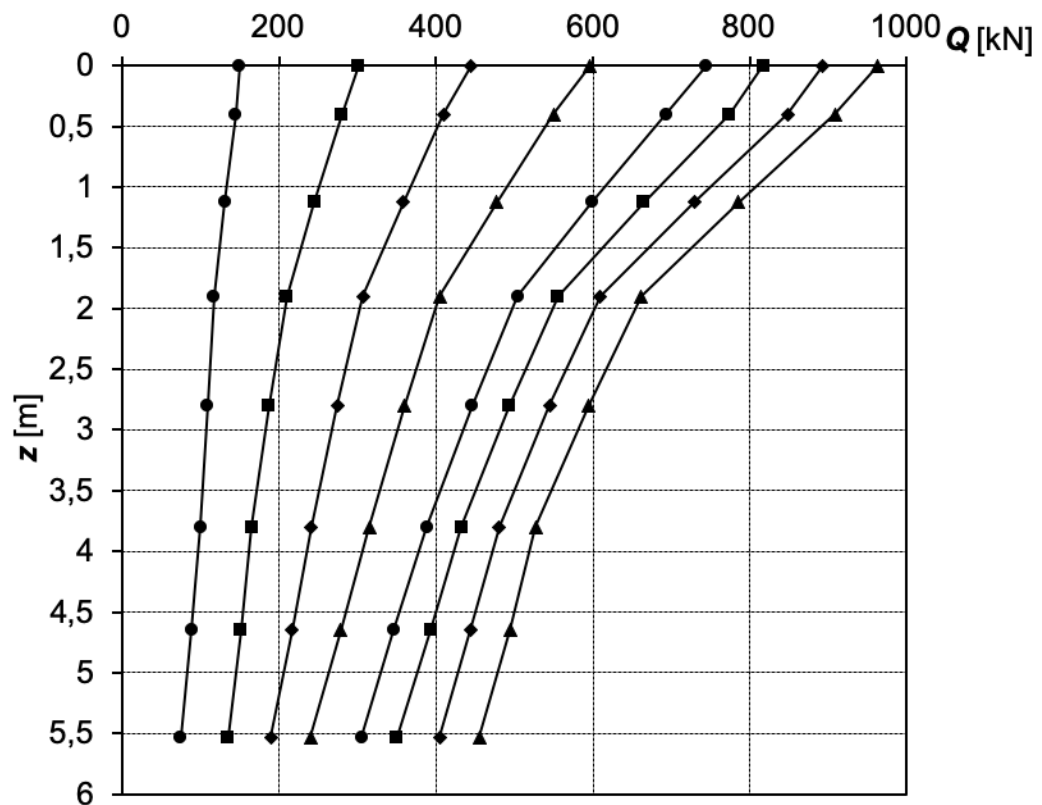


Rys. 25 Przykładowy przebieg krzywej obciążenie-osiadania [opracowanie Autora]

W bardziej zaawansowanych metodach wykonywania próbnych obciążeń statycznych stosowane są dodatkowe urządzenia pomiarowe [3, 10, 63]. Należą do nich np. tensometry – do pomiarów wartości sił działających na różnych głębokościach [12, 13, 14, 32, 42]. Przykładowy rozkład sił otrzymanych w wyniku zastosowania ekstensometrów pokazano na rys. 26 i rys. 27.



Rys. 26 Krzywa obciążenia osiadania otrzymana za pomocą ekstensometrów [opracowanie Autora]



Rys. 27 Krzywa obciążenia osiadania z literatury i odpowiadający jej rozkład siły w trzonie pała zmierzony za pomocą ekstensometrów [opracowanie Autora]

Opisane przez Wasiluka i Meyera [59] zjawisko dociążenia pala i gwałtownego osiadania, które występuje na początkowym etapie obciążania pala może mieć znaczący wpływ na późniejsze wyniki. Pomiar osiadania powinien uwzględniać czynniki, takie jak opisane przez skrócenie pala, zmiana geometrii pala przy obciążeniu, zjawisko opisane przez Wasiluka i Meyera. Są to czynniki, które nie zawsze da się przewidzieć. Należy jednak zachować szczególną uwagę i staranność, aby je wyeliminować albo skutecznie zmierzyć efekt ich działania podczas wykonywania badania.

Użycie sprzętu pomiarowego pomaga określić wartość niektórych, opisanych wcześniej zjawisk. Dzięki monitorowaniu naprężenia oraz rozkładu sił na różnych głębokościach można wyznaczyć np. wartość skrócenia trzonu pala, która może być pomijalna przy krótszych palach, ale przy posadowieniach bardzo głębokich jej znaczenie będzie rosło [11].

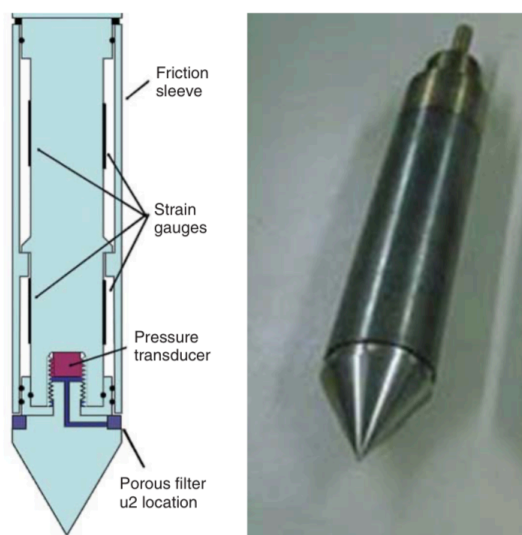
Przeprowadzenie badania z tensometrami rozpoczyna się od odpowiedniego przygotowania pala. W jego osi umieszczana jest rurka o odpowiedniej średnicy, umożliwiająca wprowadzenie sprzętu do pomiaru odkształceń. Stalowe rurki wciskane są po uformowaniu pala w świeży beton. System, który stosuje się do pomiarów zawiera łańcuch, który składa się z odpowiedniej liczby tensometrów (czujników strunowych). Układ ten jest dopasowywany indywidualnie i bierze się pod uwagę warunki gruntowe oraz długości wykonywanych fundamentów. Przed wykonaniem obciążenia łańcuch jest odpowiednio naciągany. Głównym wynikiem takiego pomiaru jest zmierzenie skrócenia trzonu pala, co po wykonaniu odpowiednich obliczeń można przełożyć na rozkład sił na długości oraz przejmowanie obciążenia przez grunt na kolejnych odcinkach pomiarowych.

W rozdziale przedstawiono różne metody sprawdzania nośności pali fundamentowych. W dalszej części pracy będą przedstawione sposoby przeprowadzenia badań na palach analizowanych w niniejszej pracy.

### 3.6. Badania parametrów gruntowych sondą CPT/CPTu

Badania sondowaniami statycznymi zaczęły rozwijać się w latach trzydziestych XX wieku w Holandii. Pierwsze badanie przeprowadzono w 1932 roku. Początkowo istniały ograniczenia w wykonywaniu badań tą metodą do mniejszych głębokości oraz gruntów słabszych. Używano wtedy jedynie stożka mechanicznego. W latach około 1950 wprowadzono użycie stożka elektrycznego, który umożliwił dodatkowe możliwości pomiarowe. Obecnie jest to bardzo rozwinięta technologia, dzięki której można stworzyć bardzo dokładne i głębokie profile gruntowe.

Badanie wykonuje się przez wciskanie w grunt sondy o odpowiednich parametrach (rys. 28) z prędkością 20 mm/s.



Rys. 28 Stożek do przeprowadzania badań CPTu z uwzględnieniem parcia wody [3]

Przy pierwszych badaniach stożek był wprowadzany przez człowieka, co ograniczało możliwości przyłożonej siły pionowej. Dzisiaj najczęściej stosowany jest odpowiednio oprzyrządowany samochód z prasą, który zapewnia reakcję pionową do 200 kN, jak na rys. 29. W przypadku niemożliwości dojazdu samochodu stosowane są lżejsze sondy, jak ta pokazana na rys. 30.



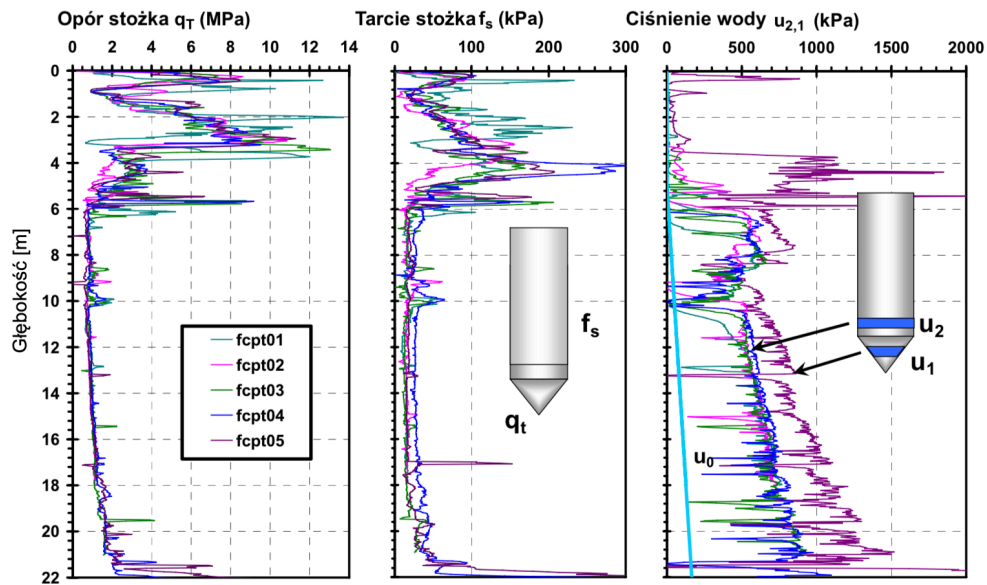


Rys. 29 Samochód do oporu stożka do 200 kN [84]



Rys. 30 Lekka sonda do badań CPT [84]

Ogromną zaletą badania jest otrzymywanie ciągłego profilu gruntowego w formie wykresów (rys. 31).



Rys. 31 wyniki otrzymywane w wyniku badań sondą CPTu [37]



Otrzymywane wyniki zależą od zastosowanego stożka. Przy stożku mechanicznym otrzymywany jest opór stożka  $q_c$  oraz tarcie tulei stożka  $f_s$ . Wartości te powinny być skorygowane o opór wody w stożku do wartości  $q_t, f_t$ . Takie korekty są możliwe przy zastosowaniu stożka elektrycznego. Badanie to nazywane jest CPTu.

$$q_c = \frac{Q_c}{A_{c,CPT}} \quad (34)$$

gdzie:

$q_c$  – opór stożka,

$Q_c$  – siła wciskająca,  $A_{c,CPT}$  – pole powierzchni podstawy stożka,

$$f_s = \frac{Q_s}{A_{s,CPT}} \quad (35)$$

gdzie:

$f_s$  – tarcie tulei stożka,

$Q_s$  – siła tarcia na tulei,

$A_{s,CPT}$  – pole powierzchni bocznej tulei stożka.

Otrzymywany przekrój gruntu pozwala określić zarówno opór jaki jest stawiany przez grunt oraz grubość warstwy, dzięki czemu przy odpowiedniej interpretacji otrzymywane są bardzo przejrzyste przekroje warstw gruntowych.

Sondowanie statyczne jest metodą powszechnie stosowaną. Dzięki wieloletnim badaniom stworzono wiele związków między wynikami otrzymywanymi z sondowań oraz właściwościami gruntu. Jako przykład można podać związek między oporem stożka, a stopniem zagęszczenia gruntów niespoistych, czy też stopniem plastyczności [73, 78].

Badanie jest opłacalne ekonomiczne, a jedynym jego negatywnym aspektem jest pewne ograniczenie przy bardzo mocnych gruntach. Maksymalne wartości tarcia stożka mogą wynosić około 200 kPa, natomiast opór pod stożkiem może dochodzić do około 2000 kPa, a dla piasków do 20 000 kPa.

Sposób wykonania badania oraz jego wyniki dobrze obrazują sposób pracy pala w gruncie. Otrzymywane wartości oporu pod stożkiem oraz tarcia stożka można wykorzystać do estymacji nośności składowych pali fundamentowych. Wielu autorów [36, 43, 44, 70] opracowało metody obliczeniowe nośności, czy powiązało otrzymywane wyniki z krzywymi obciążenie-osiadanie [72, 77, 79]. Istnieją prace, które skupiają się jedynie na opisie panujących warunków na danym obszarze [38], co pokazuje, jak

istotnym elementem w procesie projektowania jest odpowiednie wykonanie oraz zinterpretowanie badań gruntowych.

### **3.7. Metody projektowania na podstawie wyników badań sondą CPTu**

Ze względu na dobre odwzorowanie współpracy pała z gruntem przy badaniach CPTu, tj. pogrążania stożka w gruncie i otrzymywania adekwatnych oporów pod podstawą oraz na powierzchni bocznej stożka, powstało wiele metod, które pozwalają wstępnie projektować nośność pała na podstawie opracowanych wyników badań.

Ogólnym założeniem projektowania na podstawie wyników badań CPTu jest dopasowanie oporu gruntu otrzymanego podczas badania przy użyciu empirycznie wyznaczonych współczynników do otrzymania odpowiednich oporów pała. Dokładny opis stanów granicznych oraz podejść obliczeniowych przedstawił Gwizdała [26]. Przedstawione metody w dalszej części pracy w normie PN-83/B-02482 [82] oraz normie niemieckiej opierają się na wynikach sondowań.

We wcześniejszych publikacjach [68] przedstawiane były wyniki prac naukowców opracowujących odpowiednie metody.

Jedną z metod jest metoda Holenderska. Pozwala ona wyznaczyć opór podstawy w palach wykonywanych w gruntach niespoistych na podstawie średniego oporu stożka na określonej głębokości.

$$q_b = \frac{w(q_{c1} + q_{c2})}{2} \leq 150 Pa \quad (36)$$

gdzie:

$q_b$  – opór podstawy,

$w$  – współczynnik korelacji przedstawiony w tabeli,

$q_{c1}$  – średni opór stożka w warstwie poniżej podstawy pała,

$q_{c2}$  – średni opór stożka w warstwie powyżej podstawy pała,

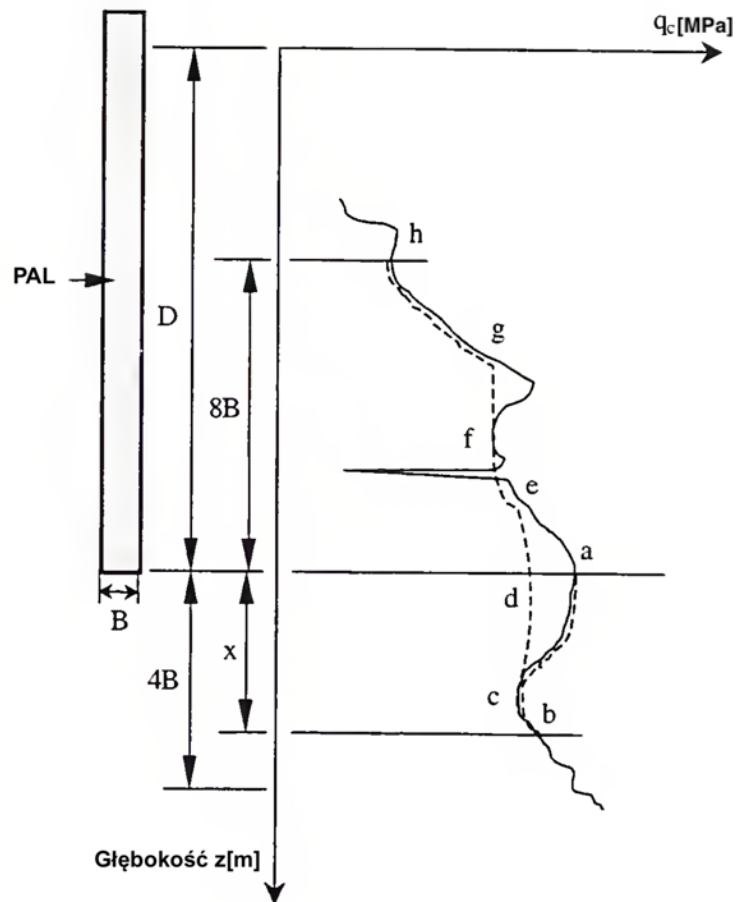
$Pa$  – referencyjny opór równy 100 kPa.

Wartości współczynnika  $w$  przedstawiono w tabeli 4:

Tabela 4. Wartość współczynnika „ $w$ ” w metodzie Holenderskiej [68]

Rodzaj gruntu	wartość "w"
Piasek	1.0
Piasek z dużą ilością frakcji żwirowej	0.67
Żwir	0.5

Wartości średnich oporów  $q_{c1}$  oraz  $q_{c2}$  wyznacza się dla wartości  $8B$  powyżej podstawy pała oraz  $4B$  poniżej podstawy. Przedstawiono to schematycznie na rys. 32. Na rys. 32 pokazano, że wartość  $q_{c1}$  jest wyznaczona dla „hgfe” natomiast  $q_{c2}$  dla „abcd”. Działając na podstawie przedstawionego schematu możliwe jest wyznaczenie oporu podstawy dla gruntów niespoistych.



Rys. 32 Schemat wyznaczenia średnich oporów podstawy  $q_{c1}$  oraz  $q_{c2}$  w metodzie Holenderskiej [68]

### 3.8. Podsumowanie przeglądu literatury

Podsumowując, na podstawie wykonanego przeglądu literatury można stwierdzić, że istnieje bardzo wiele prac naukowych związanych z projektowaniem oraz próbnymi obciążeniami statycznymi. Większość z nich jednak stanowi uzasadnienie wykorzystania pali dla konkretnej inwestycji i w związku z tym nie mają one charakteru uogólnienia. Brakuje natomiast prac, w których przedstawiono metody mogące mieć szerokie zastosowanie w działalności inżynierskiej, odnoszących się zarówno do projektantów, jak i placu budowy.

Metoda stworzona przez Meyera-Kowalowa umożliwia uniwersalne zastosowanie narzędzi opracowanych w dziedzinie geotechniki na ZUT. Niekoniecznie będzie ona jednak służyć jako teoretyczne potwierdzenie zastosowania danego rozwiązania, ale pozwoli zweryfikować poprawność zaprojektowania zagadnienia oraz sprawdzić możliwości redukcji kosztów.

Biorąc pod uwagę kwestie właściwości, wydaje się być to odpowiednia metoda. Z analiz metody wynikają parametry fizyczne pali oraz gruntów, np. stała  $C$ , która jest zagregowaną odwrotnością uogólnionej stałej Winklera oraz  $N_{gr}$ , czyli siły granicznej reprezentującej wartość obciążenia, przy którym pal osiada w sposób niekontrolowany. Parametr  $\kappa$  przedstawia proporcję nośności poboczniczy do podstawy pala. Asymptoty krzywej M-K są przedstawieniem granicznej siły, przy której pal osiada w sposób niekontrolowany, w odniesieniu do asymptoty pionowej oraz stałej  $C$ .

Z analizy literatury wynika, że w prezentowanych rozwiązaniach nie uwzględnia się warunku brzegowego na poboczniczy wg Kirchhoffa. W dostępnych pakietach zakłada się, że ugięcie przestrzeni gruntowej przy powierzchni jest równoległobokiem [39] nie zaś ogólnie tak jak to stanowi założenie Kirchhoffa.

Wprowadzenie ramienia ugięcia sugeruje, że właściwym sposobem określenia zmian składowych pionowych naprężenia na długości pala może być założenie Kirchhoffa o ugięciu przestrzeni dookoła pala, co będzie zaprezentowane w dalszej części pracy.

Funkcje transformacyjne opierają się na empirycznych zależnościach i można je stosować w każdym przypadku, w którym występuje ekstremum, jednak nie noszą cech ogólności. Na ogół przyjęcie funkcji transformacyjnych wymaga posiadania dużej bazy

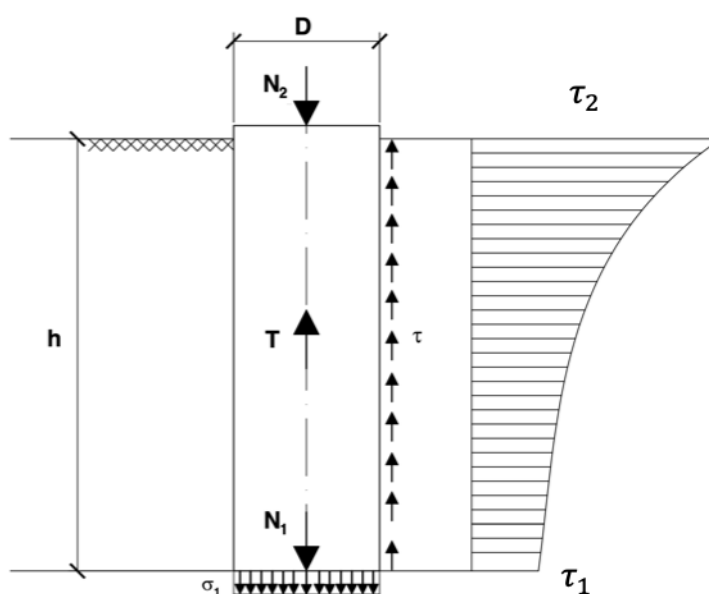
danych z różnych obciążeń statycznych. Krzywa M-K pozwala otrzymać rozkład zakładany przy funkcjach transformacyjnych, jest rozwinięciem wcześniejszych metod opierających się na krzywej obciążenie osiadanie, czego dowodem jest jej powiązanie z metodą China-Kondnera przy parametrze  $\kappa = 1$ , a także przy odpowiednim rozwinięciu może być przedstawiona w postaci logarytmicznej dla  $\kappa = 0$ .

Funkcja ta została wykorzystana przy weryfikacji badań eksperymentalnych. Natomiast do analizy podstawowej Autor przyjął opis formowania się naprężenia na poboczniczy pala wg Kirchhoffa zakładające ugięcie przestrzeni gruntowej.

#### 4. Analiza zjawiska oraz uproszczone rozwiązanie analityczne

Posadowienie pośrednie budowli musi być odpowiednio dopasowane do warunków gruntowych, w których jest wykonywane, przede wszystkim pod względem charakteru współpracy pala z gruntem i rozkładu obciążenia oporu podstawy i pobocznic. Zastosowanie tensometrów, czujników strunowych, opisane w rozdziale o badaniach pali, pozwala na analizę wykonanego pala i określenie, czy wykonano go prawidłowo również pod względem doboru technologii.

Przyjmując pracę pala w uproszczonych warunkach gruntowych, opór pobocznic pala można przedstawić według poniższego schematu. Przy założeniu, że na całej długości pala grunt zapewnia opór na pobocznic, współpracę tę można przedstawić jak na rys. 33.



Rys. 33 Uproszczone opory i naprężenia pala obciążonego w głowicy i rozkład naprężenia na pobocznic pala [opracowanie Autora]

Na rysunku rys. 33:

$N_2$  – siła przyłożona w głowicy pala [N],

$N_1$  – siła działająca na grunt przy podstawie pala [N],

$T$  – siła działająca na pobocznic pala w reakcji na obciążenie w głowicy [N],

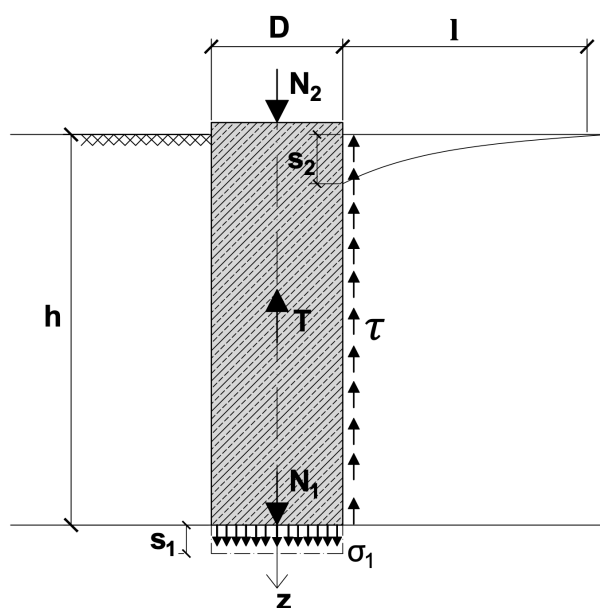
$h$  – długość pala [m],

$\tau$  – naprężenie wytworzone na pobocznic pala wskutek współpracy podłoża z gruntem [Pa],

$\sigma$  – naprężenie powstałe pod podstawą pala wskutek obciążenia pala [Pa],

$\tau_2, \tau_1$  – wartości naprężeń na poboczniczy pala odpowiednio na poziomie głowicy i podstawy pala [Pa].

Autor opiera swoją pracę na założeniu, że opór poboczniczy jest mobilizowany zgodnie z prawem Kirchhoffa [74]. Kluczowym założeniem w tej pracy jest fakt, że naprężenie na poboczniczy pala jest efektem ugięcia przestrzeni gruntowej dookoła pala, które pojawia się po obciążeniu pala w jego głowicy. Schemat odkształcenia gruntu pokazano na rys. 34.



Rys. 34 Odkształcenie gruntu oraz wartości osiadania pod wpływem obciążenia pala w głowicy [opracowanie Autora]

Na rysunku:

$N_2$  – siła przyłożona w głowicy pala [N],

$N_1$  – siła działająca na grunt przy podstawie pala [N],

$T$  – siła działająca na poboczniczy pala w reakcji na obciążenie w głowicy [N],

$h$  – długość pala [m],

$\tau$  – naprężenie wytworzone na poboczniczy pala wskutek ugięcia się gruntu dookoła pala [Pa],

$s_2, s_1$  – osiadanie odpowiednio głowicy oraz przy podstawie pala, wartości są różne ze względu na efekt skrócenia pala i bez jego wybożenia [mm],

$l$  – ramię ugięcia gruntu, przyjmowany  $l \cong 3D$  (dla małych obciążeń,  $N < \frac{1}{2} N_{gr}$ ).

Jako model pracy przyjęto następujące założenie: jednowarstwowy grunt o właściwościach sprężystych, co pozwala na przyjęcie stałych parametrów geotechnicznych w dalszej części pracy.

Przy powyższych założeniach możliwe jest zastosowanie następujących związków [74]:

$$s(z) = \frac{\tau(z) \cdot l}{G} \quad (37)$$

$$G = \frac{E_t}{2(1+\nu)} \quad (38)$$

następnie:

$\nu$  – współczynnik Poissona gruntu,

$E_t$  – moduł ściśliwości gruntu przy poboczniczy pala w kierunku pionowym [MPa],

$s_2$  – wartość przemieszczenia głowicy pala [mm],

$s(z)$  – ugięcie przestrzeni gruntowej przy poboczniczy pala na głębokości  $z$  [mm].

Skrócenie trzonu pala wyraża się wzorem:

$$s_*(z) = \frac{4}{\pi D^2 E_{bet}} \cdot \int_0^z N(z) dz \quad (39)$$

gdzie:

$D$  – średnica pala [m],

$E_{bet}$  – moduł sprężystości betonu [MPa],

$s_*$  – skrócenie pala [mm].

Wzór opisujący osiową zmianę wartości siły skupionej przyłożonej w głowicy pala.

$$N(z) = N_2 - \pi D h \int_0^z \tau(z) dz \quad (40)$$

Wzorem (41) opisuje się naprężenie na poboczniczy pala z uwzględnieniem skrócenia trzonu:

$$\frac{d^2 \tau}{d(a \cdot z)^2} - \tau = f(z) \quad (41)$$

Funkcja  $f(z)$  uwzględnia, jeszcze przed obciążeniem zewnętrzną siłą w głowicy, występowanie naprężenia w gruncie w stanie spoczynku pala. W ogólnym przypadku, gdy mamy ośrodek rozdrobniony (ziarnisty), ale z zawartością części pylastych i ilastych wówczas funkcją  $f(z)$  może być również funkcją czasu  $z$  z uwzględnieniem konsolidacji i odpływu wody z porów gruntowych. Efekt ten został pominięty w dalszych rozważaniach.

Jeśli spełniony jest warunek  $f(z) = 0$ , równanie (41) przyjmuje postać:



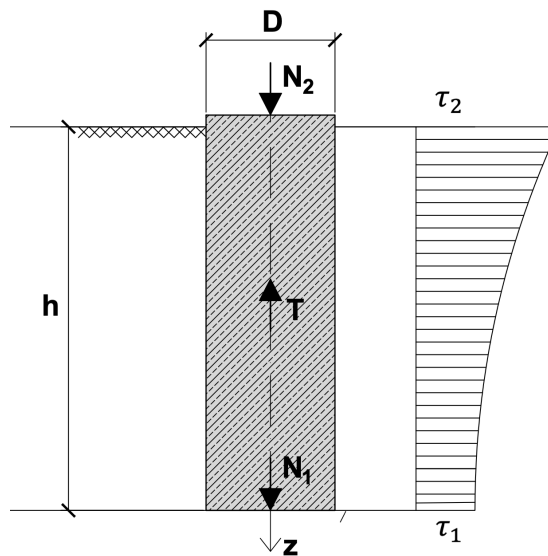
$$\frac{d^2 \tau}{d(a \cdot z)^2} - \tau = 0 \quad (42)$$

$$a = \sqrt{\frac{2 \cdot E_t}{(1+\nu) E_{bet} \cdot D \cdot l}} \quad (43)$$

Rozwiązaniem równania różniczkowego (42) jest:

$$\tau(z) = A_1 \sinh(az) + A_2 \cosh(az) \quad (44)$$

Wyznaczenie wartości stałych równania  $A_1$  oraz  $A_2$  odbywa się z uwzględnieniem poniższych warunków brzegowych, przedstawionych graficznie na rys. 35:



Rys. 35 Uproszczony schemat rozkładu naprężenie wzdłuż pobocznic palaka [opracowanie Autora]

Przy wartości  $z = 0$ :

$$\sinh(az) = 0 \text{ i } \cosh(az) = 1, \text{ więc } A_2 = \tau_2 \quad (45)$$

Przy wartości  $z = h$ :

$$\tau_1 = A_1 \sinh(ah) + \tau_2 \cosh(ah) \quad (46)$$

Po przekształceniach:

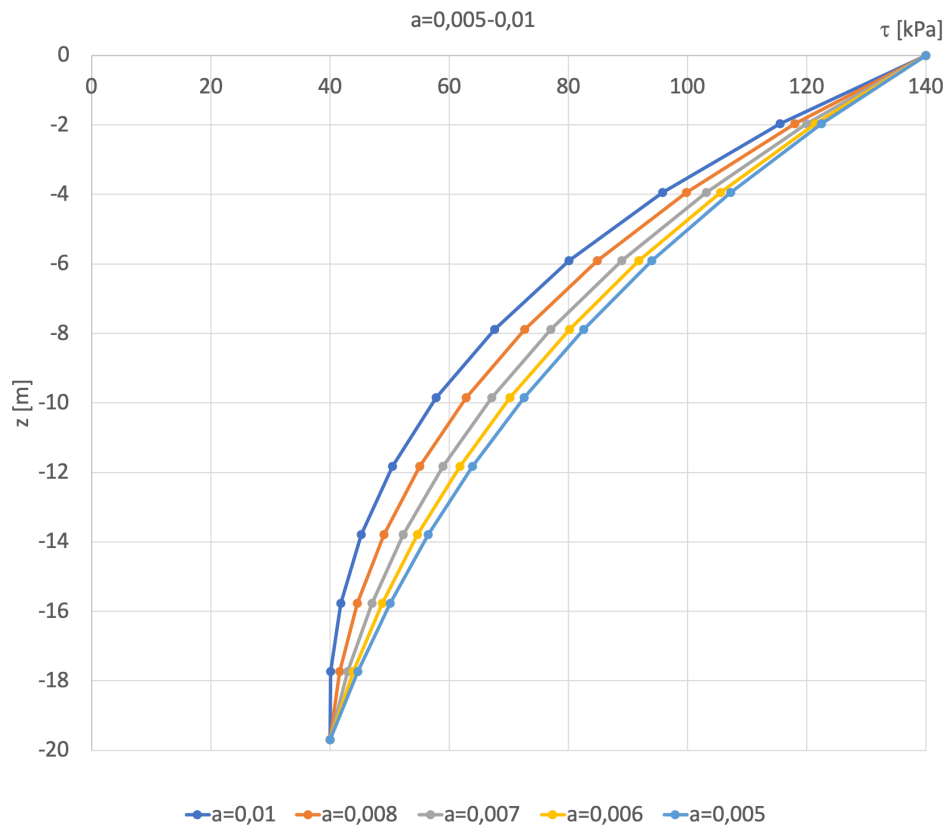
$$A_1 = \frac{\tau_1 - \tau_2 \cosh(ah)}{\sinh(ah)} \quad (47)$$

Ostateczna postać równania na naprężenie na długości palaka:

$$\tau(z) = \frac{\tau_1 - \tau_2 \cosh(ah)}{\sinh(ah)} \sinh(az) + \tau_2 \cosh(ah) \quad (48)$$

Kolejnym krokiem jest sprawdzenie na podstawie otrzymanych wyników w badaniach eksperymentalnych, jak wartość współczynnika „a” wpływa na wartość naprężenia na pobocznic palaka. Do tego celu opracowano program obliczeniowy. Pierwszym krokiem

było sprawdzenie zakresu wartości współczynnika, które będą analizowane. Odbywało się to za pomocą weryfikacji interpretacji graficznej wyników naprężenia na pobocznicy pała. Wartości  $\tau_2$  i  $\tau_1$  to wielkości otrzymywane w oprzyrządowanych badaniach statycznymi obciążeniami próbnymi odpowiednio w przy podstawie i przy głowicy pała. Przykład weryfikacji graficznej pokazano na rysunku rys. 36.



Rys. 36 Wykresy składowych naprężenia otrzymanego w programie dla wartości  $a \in < 0,005; 0,01 >$

Przeprowadzona analiza stałej „a” przedstawionej wzorem (43) wykazuje, że wartość  $a \ll 1$ . Do praktycznych celów inżynierskich obliczeń przyjęto rozwiązanie asymptotyczne:

$$\tau(z) = \lim_{a \rightarrow 0} (\tau, a) \quad (49)$$

$$\tau(z) = \tau_2 - (\tau_2 - \tau_1) \cdot \frac{z}{h} \quad (50)$$

Przy zastosowaniu powyższego wzoru możliwe jest uzyskanie kolejnych związków do dalszych analiz. Powiązanie naprężenia z siłą działającą na głowicę pała jest kolejnym krokiem. Wiadomo, że:

$$\frac{N_2 - N_1}{\pi D h} = \frac{\tau_2 - \tau_1}{2} \quad (51)$$

Po uwzględnieniu wzoru (15) otrzymujemy pionową zmianę siły pionowej:

$$N(z) = N_2 - \pi D \cdot \left[ \tau_2 \cdot z - \frac{1}{2} (\tau_2 - \tau_1) \cdot \frac{z^2}{h} \right] \quad (52)$$

A po wprowadzeniu związków pomiędzy  $\tau_2$  i  $\tau_1$  oraz  $N_2$  i  $N_1$ :

$$N(z) = N_2 - \pi D \cdot \left[ \tau_2 \cdot z - \left( \tau_2 - \frac{N_2 - N_1}{\pi D h} \right) \cdot \frac{z^2}{h} \right] \quad (53)$$

Wzór (53) jest podstawowym wzorem programu obliczeniowego, który Autor zastosował do estymacji wartości  $\tau_2$ . Do weryfikacji metody obliczeniowej została użyta metoda najmniejszych sum kwadratów odchyłek. Do każdego stanu obciążenia sporządzone były wykresy kwadratów różnic na podstawie wzoru (53).

$$\delta^2 = \sum [N_i - N(z_i; \tau_2)]^2 = \min \quad (54)$$

gdzie:

$N_i$  – siła w trzonie pała zmierzona na głębokości  $z_i$ ,

$N(z_i; \tau_2)$  – siła obliczona za pomocą opisanej metody wzorem (53).

Przeprowadzone analizy miały pozwolić zweryfikować, czy przyjęte rozwiązanie (53) jest prawidłowe. Dla każdego stanu obciążenia analizowanych pali otrzymano rozkład normalny wyników, co potwierdza przyjęte założenia. W dalszej części pracy ta metoda będzie nazywana również metodą elementarną.

Na podstawie przedstawionych metod obliczeniowych oraz wyników badań eksperymentalnych, Autor chciał zweryfikować następujące założenia:

- uwzględnienie w analizie skrócenia trzonu pała (39) ma wpływ na pionowy rozkład oporu pobocznic pała oraz czy uzyskane w rozwiązaniu zależności analityczne (46)-(48) mogą być wykorzystane do określenia pionowych zmian oporu pobocznic pała. Wykorzystując uzyskane przez Autora rozwiązanie problemu, Autor przeanalizował wpływ parametrów na przebieg analizowanego rozkładu i stwierdził, że w praktycznych przypadkach pali CFA rozwiązanie prowadzi do wniosku, iż możliwe jest zastosowanie uzyskanej formuły (50) oraz wynikających dalszych zależności zmiany osiowej siły w trzonie pała,
- możliwość wykorzystania założenia Kirchhoffa przedstawionego wzorem do analizy omawianego zagadnienia,
- sprawdzenie, czy liniowy rozkład uzyskany na podstawie matematycznej analizy znajduje zastosowanie w praktycznych warunkach. Oprócz porównania przebiegu krzywych zależności rozkładu siły oraz naprężenia Autor przedstawi rozkład najmniejszych kwadratów odchyłek otrzymany

przez porównanie wyników otrzymanych podczas analizy matematycznej z wynikami badań eksperymentalnych wartości sił w trzonie pała. Rozkłady były dokonywane w celu sprawdzenia czy wyniki będą wykazywały charakter normalny,

- Autor przyjął do analiz powierzchnie stykowe pała z gruntem jako idealnie gładkie. Ma to fundamentalne znaczenie przy zjawisku tarcia negatywnego, które nie jest rozpatrywane w niniejszej pracy,
- Autor rozpatruje swoje analizy w zakresie obciążenia  $N \leq \sim 0,6N_{gr}$ , czyli w odcinku liniowej zależności między obciążeniem i osiadaniem pała,
- Autor przyjmuje równomierny rozkłady normalnej składowej oporu na pobocznicę pała.

## 5. Badania eksperymentalne

### 5.1. Cel i zakres badań eksperymentalnych

Celem badań eksperymentalnych jest weryfikacja założeń do modelu matematycznego obliczeń  $\tau(z)$  przedstawionego w części teoretycznej pracy. Weryfikacja będzie polegała na pomiarach tensometrycznych mających na celu ustalenie przebiegu  $N(z)$  na długości pala dla poszczególnych faz obciążenia w głowicy pala.

Opierając się na zbiorze danych  $\{N(z_i); z_i\}$  przygotowano procedurę obliczeniową, która przy zastosowaniu metod statystyki matematycznej pozwala na obliczenie wartości naprężenia na poboczniczy pala w poziomie głowicy  $\tau_2$  oraz w poziomie podstawy  $\tau_1$ .

### 5.2. Opis poligonu terenowego oraz metodyka wykonywania badania

Badania pali były wykonywane metodą próbnych obciążeń statycznych. Stanowiska do wykonywania badania były konstrukcjami zakotwionymi. W zależności od kolumny zastosowano cztery lub sześć pali. Na rys. 37 przedstawiono jeden z pali przygotowanych do badania. To konstrukcja kotwiona na czterech palach.



Rys. 37 Przygotowane stanowisko do wykonania konstrukcji do obciążenia pala [opracowanie Autora]

W celu wyznaczenia przebiegu zmian siły osiowej w palu wyposażono je w rurkę stalową o średnicy 57/2,9mm, którą umieszczono wibracyjnie w osi trzonu pala. Dzięki rurce możliwe było zainstalowanie aparatury pomiarowej, która rejestrowała podłużne odkształcenia trzonu pala w trakcie obciążenia próbnego.

Do pomiarów zastosowano systemy do pomiaru osiadania i odpowiadających im sił w poziomie głowicy i podstawy pala oraz zestaw ekstensometrów – czujników strunowych. Czujniki połączone były w łańcuch za pomocą prętów wykonanych z włókna szklanego, umieszczonych w rurce stalowej. Liczba czujników oraz ich układ był dopasowywany indywidualnie do każdego przypadku pala. Wskaźniki do rozmieszczenia czujników wyznaczały badania gruntowe sondą CPT, które wykonywano w miejscach badanych pali.

Próbne obciążenia były wykonywane wg normy PN-83/B-02482 [82] przy użyciu hydraulicznego siłownika. Stanowisko podczas wykonywania badania przedstawiono na rys. 38.



Rys. 38 Trwające badanie pala za pomocą siłownika [opracowanie Autora]

Siła przyłożona w głowicy pala była stopniowo zwiększana o 300 lub 400 kN. W interwałach czasowych co 5 minut odczytywane były wartości osiadania na głowicy pala, natomiast w interwałach co 1 minutę zbierano odczyty z czujników zainstalowanych w rurce umieszczonej w palu. W pewnym momencie pale były odciążane i następował pomiar osiadania trwałego. Po odczycie były one ponownie obciążane do stanu, w którym



nastąpiło wcześniej odciążenie. W ten sposób wykonywano badanie do osiągnięcia maksymalnej siły  $N_{max}$ .

Poza badaniami terenowymi wykorzystano w pracy pale opisane w literaturze [42]. Ze względu na koszty wykonywanych badań, które mogą sięgać do kilkudziesięciu tysięcy złotych w odniesieniu do pojedynczego badania, a w skali inwestycji może to stanowić nawet kilkaset tysięcy złotych, zbudowanie bazy danych składającej się z większej liczby pali, wymaga znacznego czasu.

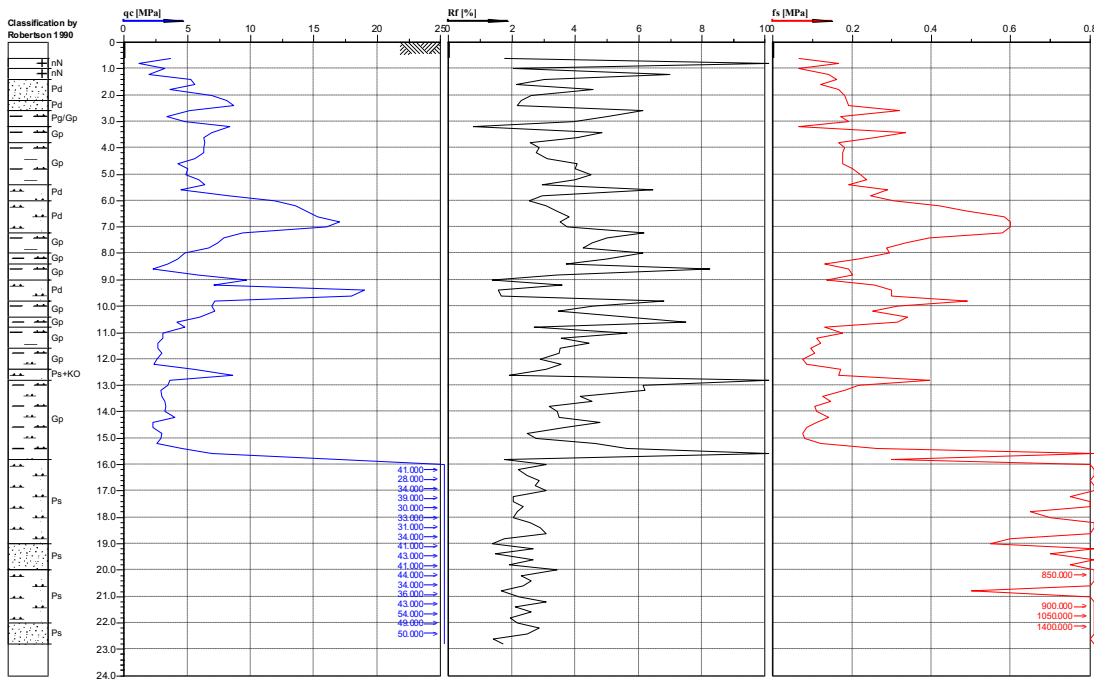
### **5.3. Opis bazy danych**

Baza danych stworzona przez Autora pracy obejmuje wartości otrzymane z badań próbnych obciążeń statycznych. Do dyspozycji Autora były informacje o geometrii wykonanych pali – długość, średnica, technologia pala, stopnie obciążenia pala, wartości osiadania dla poszczególnych stopni obciążenia. Tabele, które zostały opracowane przez Autora do zastosowania w dalszej części pracy, znalazły się w pracy jako załącznik 79a – Zał. 84c. Przykładowe wycinki tabel zostały zaprezentowane w części opisowej badań eksperymentalnych.

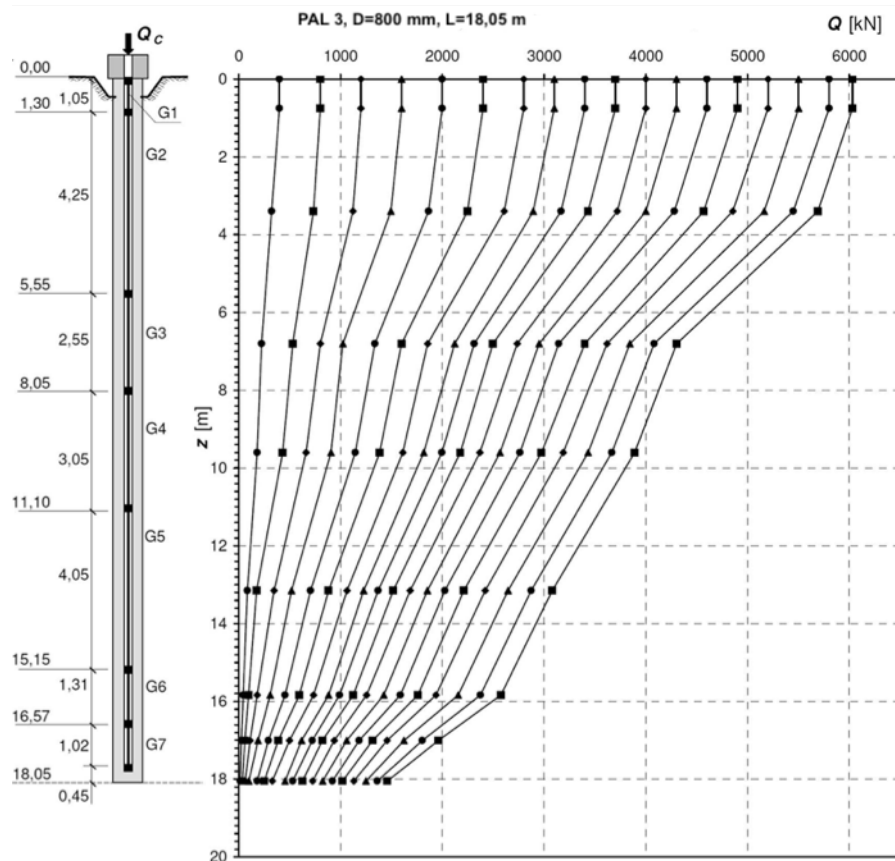
W przypadku pala 1 oraz pala 2 Autor zastosował do analizy materiały przedstawione w publikacji [42]. Przedstawiono w niej jedynie graficzne interpretacje badań, dlatego Autor, wykorzystując te materiały, dokonał odpowiedniej interpretacji i otrzymał dane liczbowe wykorzystane do analizy.

W odniesieniu do pala 3, 4 oraz 5 Autor dysponował pełną bazą danych. Warunki gruntowe zaprezentowano poniżej i są one wynikiem badań sondą CPT oraz przedstawione w formie opracowania wyników tych badań jako wykresy. Przedstawiono również w formie graficznej rozkład czujników tensometrów oraz otrzymane wyniki w formie graficznej.

W przypadku pala 6 Autor miał dostęp do graficznych interpretacji wyników badań sondą CPTu oraz rozkładu sił wzdłuż trzonu pala, co pokazano na rys. 45. W badaniach zastosowano metodę interpretacji analogiczną w stosunku do pala 1 oraz pala 2 i sporządzonej tabeli uporządkowano otrzymane wyniki do dalszych analiz.

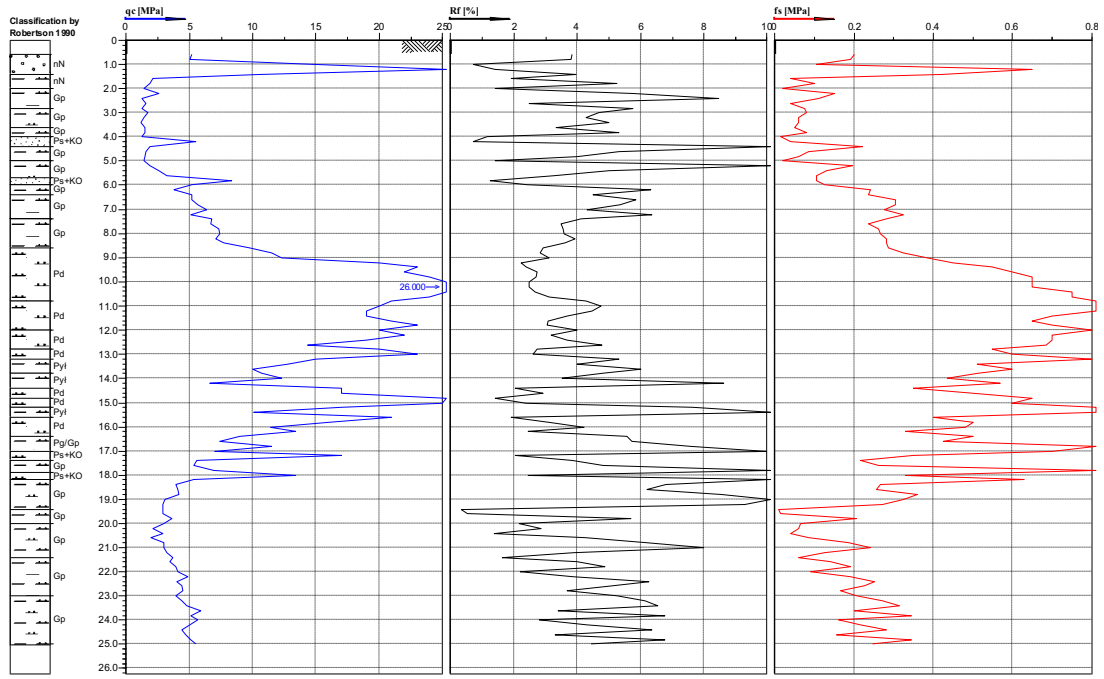


Rys. 39 Wyniki badań sondą CPT do pala nr 3 [85]

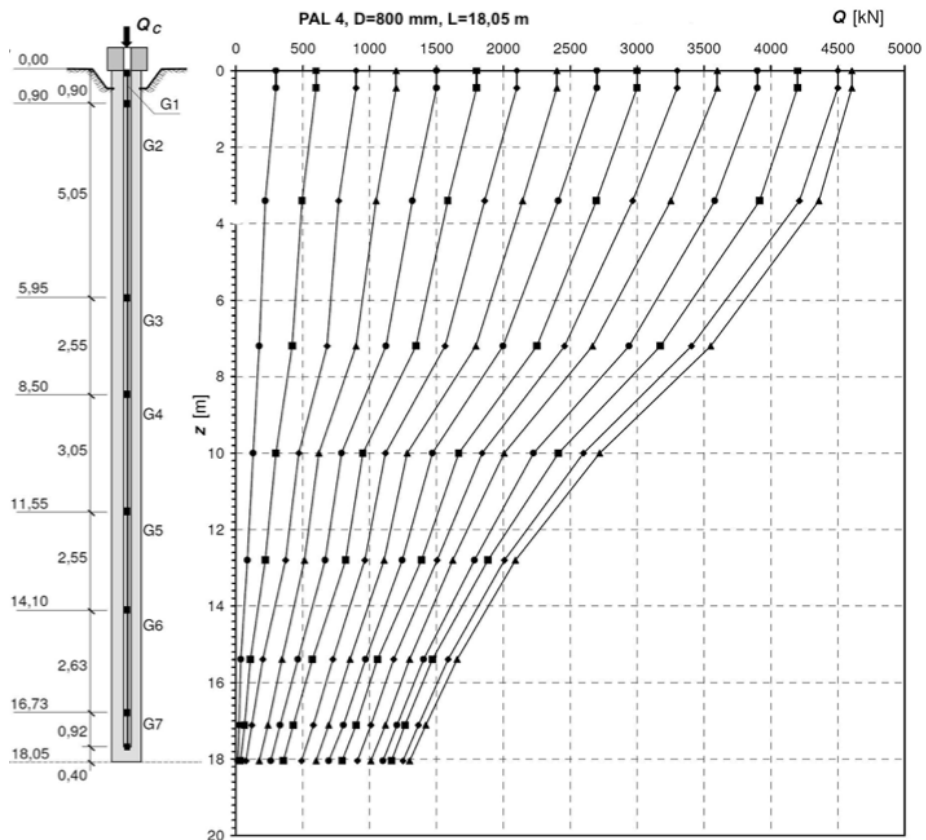


Rys. 40 Rozmieszczenie czujników ekstensometrów oraz rozkład sił wzdłuż trzonu pala 3 [85]

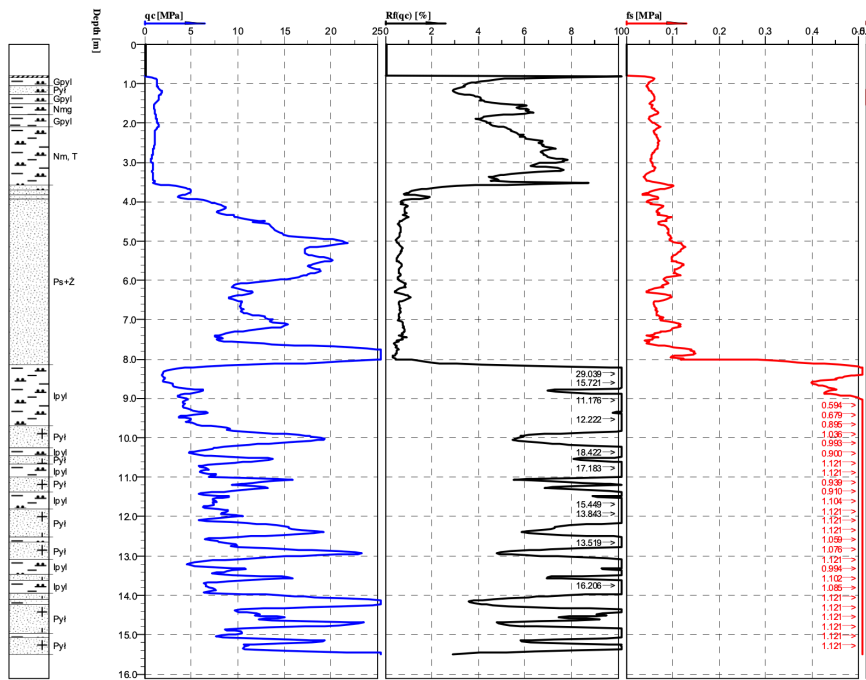




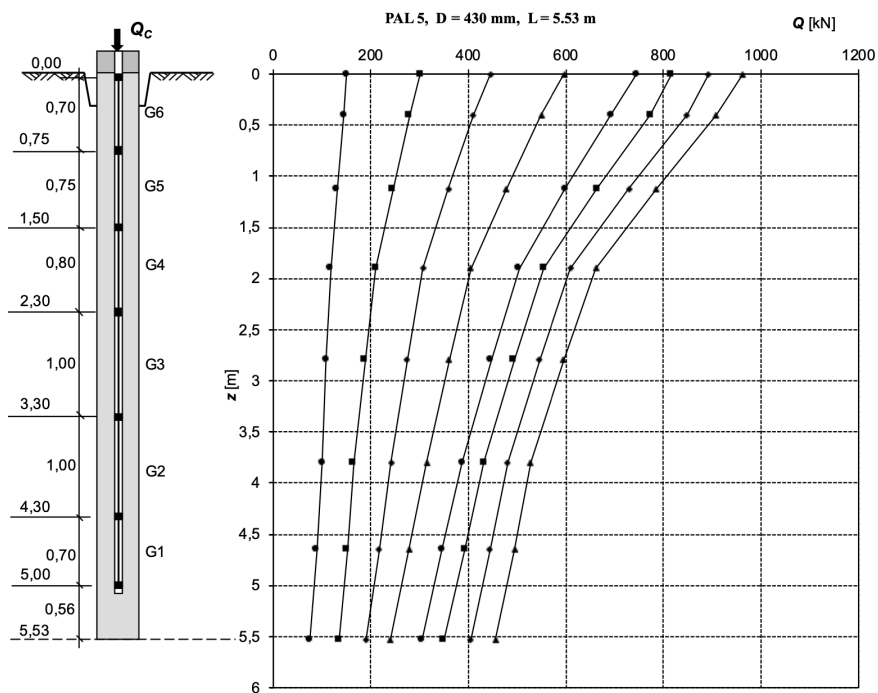
Rys. 41 Wyniki badań sondą CPT do pala nr 4 [85]



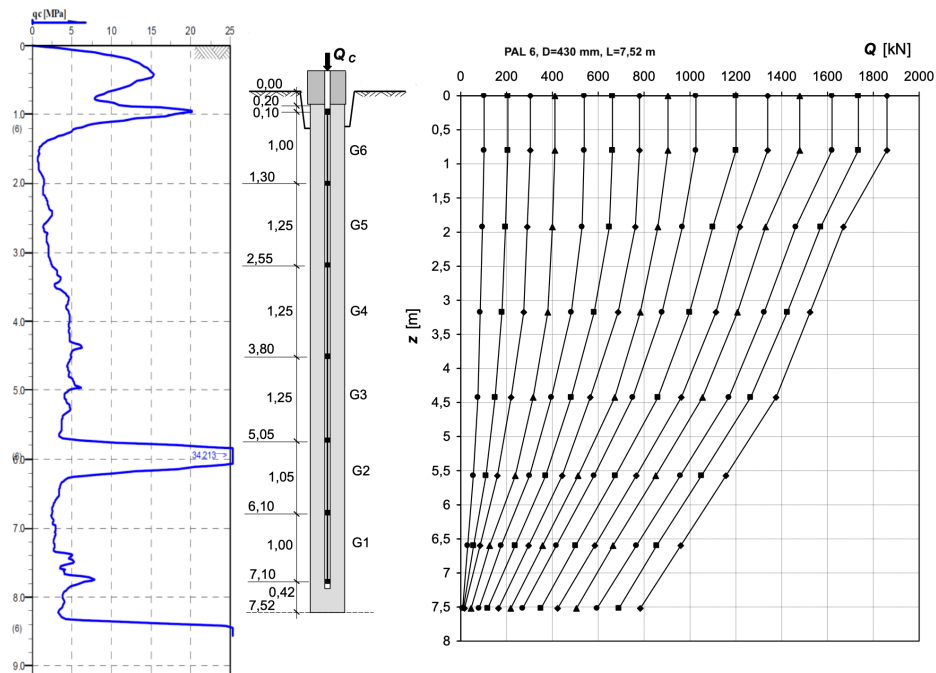
Rys. 42 Rozmieszczenie czujników ekstensometrów oraz rozkład sił wzdłuż trzonu pala 3 [85]



Rys. 43 Wyniki badań sondą CPT do pala nr 4 [85]



Rys. 44 Rozmieszczenie czujników ekstensometrów oraz rozkład sił wzdłuż trzonu pala 5 [85]



Rys. 45 Rozmieszczenie czujników ekstensometrów oraz rozkład sił wzdłuż trzonu pala 6 oraz wykres oporu stożka sondy CPT [85]

Ze względu na koszt wykonania oraz niewielką liczbę wykonywanych badań w takim zakresie, Autor zdecydował się na wykorzystanie z literatury wyników odnoszących się do kolejnych dwóch pali. Baza danych składa się zatem z 6 w pełni oprzyrządowanych przypadków, które pozwoliły dokonać odpowiednich analiz. W dalszej części pracy badawczej Autor planuje rozbudowywać bazę danych o kolejne przypadki oraz opracować szerszą analizę dotychczasowych wyników, uwzględniając np. uwarstwienie gruntu oraz wyniki badań gruntowych sondą CPTu.

## 5.4. Tablice wyników pomiarów

Do każdego pala na podstawie wyników otrzymanych w badaniach sporządzono uporządkowane tabele danych. Do otrzymanego wyniku osiadania sporządzono rozkład siły na długości pala, a dane uporządkowano rosnąco według wyników przemieszczenia pala. Interpretacja graficzna otrzymywanych wyników to przede wszystkim krzywa obciążenie-osiadanie  $N - s$ . Przykładowe wycinki tabel z danymi przedstawiono poniżej w formie tabeli 5 i tabeli 6. Ze względu na rozmiar tabel, w pełnym zakresie będą one dołączone jako załącznik do pracy.

Tabela 5. Wycinek tabeli porządkującej wartości osiadania oraz sił do analiz [opracowanie Autora]

z [m]		$N_{2,7}$ [kN]	$s_7$ [mm]	N [kN]		$N_{2,8}$ [kN]	$s_8$ [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1.1.7</sub>	2800	2,83	2800	P <sub>1.1.8</sub>	3100	3,56	3100
2,00	P <sub>1.2.7</sub>			2761,9	P <sub>1.2.8</sub>			3047,62
4,00	P <sub>1.3.7</sub>			2476,2	P <sub>1.3.8</sub>			2809,52
6,00	P <sub>1.4.7</sub>			2047,6	P <sub>1.4.8</sub>			2333,33
8,00	P <sub>1.5.7</sub>			1761,9	P <sub>1.5.8</sub>			2000
10,00	P <sub>1.6.7</sub>			1528,8	P <sub>1.6.8</sub>			1761,91
12,00	P <sub>1.7.7</sub>			1238,1	P <sub>1.7.8</sub>			1428,57
14,00	P <sub>1.8.7</sub>			952,38	P <sub>1.8.8</sub>			1095,24
16,00	P <sub>1.9.7</sub>			714,29	P <sub>1.9.8</sub>			857,14
18,05	P <sub>1.10.7</sub>			380,95	P <sub>1.10.8</sub>			523,81
z [m]		$N_{2,13}$ [kN]	$s_{13}$ [mm]	N [kN]		$N_{2,14}$ [kN]	$s_{14}$ [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1.1.13</sub>	4600	7,21	4600	P <sub>1.1.14</sub>	4900	8,28	4900
2,00	P <sub>1.2.13</sub>			4523,8	P <sub>1.2.14</sub>			4857,14
4,00	P <sub>1.3.13</sub>			4142,9	P <sub>1.3.14</sub>			4428,57
6,00	P <sub>1.4.13</sub>			3476,2	P <sub>1.4.14</sub>			3761,91
8,00	P <sub>1.5.13</sub>			3000	P <sub>1.5.14</sub>			3238,1
10,00	P <sub>1.6.13</sub>			2714,3	P <sub>1.6.14</sub>			2904,76
12,00	P <sub>1.7.13</sub>			2285,7	P <sub>1.7.14</sub>			2476,19
14,00	P <sub>1.8.13</sub>			1904,8	P <sub>1.8.14</sub>			2095,24
16,00	P <sub>1.9.13</sub>			1571,4	P <sub>1.9.14</sub>			1761,91
18,05	P <sub>1.10.13</sub>			1000	P <sub>1.10.14</sub>			1095,24

Tabela 6. Wycinek tabeli porządkującej do analiz wartości osiadania oraz sił [opracowanie Autora]

z [m]		N <sub>2,1</sub> [kN]	s <sub>1</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,2</sub> [kN]	s <sub>2</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1.1.1</sub>	300	0,2	300,00	P <sub>1.1.2</sub>	600	0,43	600,00
2,00	P <sub>1.2.1</sub>			261,11	P <sub>1.2.2</sub>			544,44
4,00	P <sub>1.3.1</sub>			222,22	P <sub>1.3.2</sub>			500,00
6,00	P <sub>1.4.1</sub>			200,00	P <sub>1.4.2</sub>			444,44
8,00	P <sub>1.5.1</sub>			166,67	P <sub>1.5.2</sub>			388,89
10,00	P <sub>1.6.1</sub>			122,22	P <sub>1.6.2</sub>			288,89
12,00	P <sub>1.7.1</sub>			111,11	P <sub>1.7.2</sub>			250,00
14,00	P <sub>1.8.1</sub>			55,56	P <sub>1.8.2</sub>			166,67
16,00	P <sub>1.9.1</sub>			38,89	P <sub>1.9.2</sub>			111,11
18,05	P <sub>1.10.1</sub>			11,11	P <sub>1.10.2</sub>			27,78
				Punkty				
z [m]		N <sub>2,7</sub> [kN]	s <sub>7</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,8</sub> [kN]	s <sub>8</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1.1.7</sub>	2100	2,27	2100	P <sub>1.1.8</sub>	2400	2,89	2400,00
2,00	P <sub>1.2.7</sub>			1977,8	P <sub>1.2.8</sub>			2261,11
4,00	P <sub>1.3.7</sub>			1811,1	P <sub>1.3.8</sub>			2066,67
6,00	P <sub>1.4.7</sub>			1655,6	P <sub>1.4.8</sub>			1888,89
8,00	P <sub>1.5.7</sub>			1444,4	P <sub>1.5.8</sub>			1644,44
10,00	P <sub>1.6.7</sub>			1111,1	P <sub>1.6.8</sub>			1277,78
12,00	P <sub>1.7.7</sub>			1000	P <sub>1.7.8</sub>			1150,00
14,00	P <sub>1.8.7</sub>			861,11	P <sub>1.8.8</sub>			1000,00
16,00	P <sub>1.9.7</sub>			666,67	P <sub>1.9.8</sub>			805,56
18,05	P <sub>1.10.7</sub>			511,11	P <sub>1.10.8</sub>			611,11
z [m]		N <sub>2,13</sub> [kN]	s <sub>13</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,14</sub> [kN]	s <sub>14</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1.1.13</sub>	3900	8,85	3900	P <sub>1.1.14</sub>	4200	13,28	4200,00
2,00	P <sub>1.2.13</sub>			3722,2	P <sub>1.2.14</sub>			4055,56
4,00	P <sub>1.3.13</sub>			3333,3	P <sub>1.3.14</sub>			3788,89
6,00	P <sub>1.4.13</sub>			3111,1	P <sub>1.4.14</sub>			3122,22
8,00	P <sub>1.5.13</sub>			2750	P <sub>1.5.14</sub>			2944,44
10,00	P <sub>1.6.13</sub>			2233,3	P <sub>1.6.14</sub>			2416,67
12,00	P <sub>1.7.13</sub>			1916,7	P <sub>1.7.14</sub>			2038,89
14,00	P <sub>1.8.13</sub>			1611,1	P <sub>1.8.14</sub>			1694,44
16,00	P <sub>1.9.13</sub>			1333,3	P <sub>1.9.14</sub>			1388,89
18,05	P <sub>1.10.13</sub>			1111,1	P <sub>1.10.14</sub>			1166,67

Tak sformatowane tabele były wykorzystywane do weryfikacji graficznych rozkładów sił otrzymywanych w analizie obliczeniowej.

## 6. Zależność funkcyjna do analizy wyników badań eksperymentalnych

W praktyce najważniejszą rolę odgrywa możliwość szybkiej weryfikacji wyników przy użyciu najłatwiej dostępnych danych. Na budowach, gdzie wykonywane są pale fundamentowe, konieczne jest sprawdzenie panujących warunków gruntowych oraz badanie nośności wykonanych pali. Do analiz przyjęto badania gruntowe prowadzone za pomocą technologii CPTu, a do weryfikacji nośności pali – badania próbnych obciążeń statycznych. Opierając na założeniach metody M-K, do której schematyczny wykres został przedstawiony na rys. 46, po zastosowaniu wzorów (37) i (38) można przyjąć następującą zależność:

$$\tau_2 = \frac{E_t}{2 \cdot (1 + \nu) \cdot l} \cdot s_2 \quad (55)$$

W celu uproszczenia wprowadza się współczynnik:

$$B_2 = \frac{E_t}{2 \cdot (1 + \nu) \cdot l} \quad (56)$$

stąd:

$$\tau_2 = B_2 \cdot s_2 \quad (57)$$

Po otrzymaniu wyników z badań nośności pali, estymowano wartości naprężenia na pobocznicy  $\tau_2$  stosując poniższy wzór:

$$s_2 = \frac{\tau_2 \cdot l}{E_t} \cdot 2(1 + \nu) \quad (58)$$

Z metody M-K wiadomo:

$$s_2 = C_2 N_{gr2} \cdot \frac{\left(1 - \frac{N_2}{N_{gr2}}\right)^{-\kappa_2} - 1}{\kappa_2} \quad (59)$$

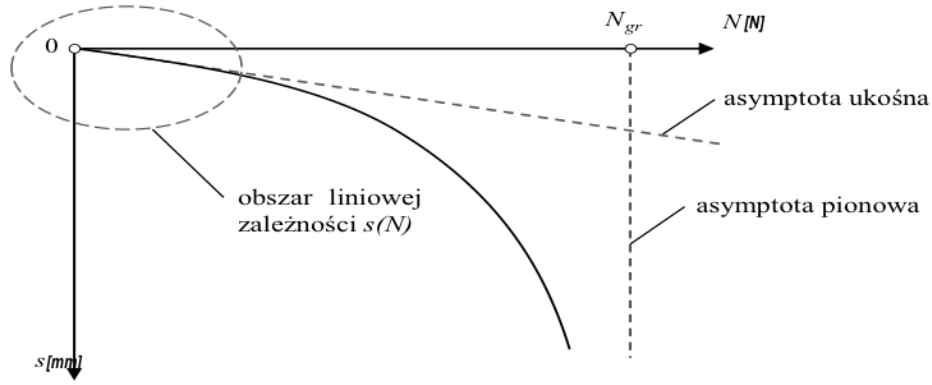
w powyższym wzorze:

$C_2$  – współczynnik krzywej wyznaczonej wg metody M-K opisany jako zagregowana odwrotność współczynnika Winklera [69],

$N_{gr2}$  – graniczna nośność pala [MN],

$\kappa_2$  – bezwymiarowy współczynnik pokazujący związek między nośnością pobocznicy i podstawy pala.

Współczynniki wzoru (51) otrzymuje się metodami statystycznymi, co było wielokrotnie prezentowane przez innych Autorów [60, 71, 79].



Rys. 46 Schemat krzywej obciążenie osiadanie z asymptotami wg metody Meyera-Kowalowa [51]

Z badań Meyer [47] można przyjąć, że przy  $N_2 < \frac{1}{2} N_{gr2}$ :

$$s_2 = C_2 \cdot N_2 \quad (60)$$

Stąd z wzoru (60) otrzymujemy:

$$\tau_2 = C_2 \cdot N_2 \cdot B_2 \quad (61)$$

Dodatkowo opisane w [69] mamy w gruntach niespoistych:

$$E_{tz} = 4q_c \cdot \left(1 + \frac{1}{4} q_c^{\frac{1}{3}}\right) \quad (62)$$

Po otrzymaniu współczynników  $C_2$ ,  $\kappa_2$ ,  $N_{gr2}$  możliwe jest sporządzenie związków  $N_2 = N_2(s_2)$  oraz  $\{\tau_2; N_2\}$ . Z kompletem wyników badań terenowych możliwe jest wyznaczenie współczynnika  $B_2$  i porównanie  $\tau_2(N_2)$  z odpowiadającym  $\tau_2(s_2)$ .

Po wyznaczeniu wartości naprężenia w poziomie głowicy pała można wyznaczyć naprężenia na głębokości podstawy pała. Używając wzoru (50) można wyznaczyć przebieg wartości naprężenia:

$$\tau_1(s_2) = \frac{N_2(s_2) - N_1(s_2)}{\pi D h} \cdot 2 - \tau_2(s_2) \quad (63)$$

Stosując wcześniejsze uproszczenia i parametry M-K otrzymuje się:

$$\tau_1 = N_2 \cdot \left[ \frac{2}{\pi d} \cdot \left(1 - \frac{N_1}{N_2}\right) - B_2 \cdot C_2 \right] \quad (64)$$

I ostateczna postać wzoru jest następująca (55):

$$\tau_1 = N_2 \cdot \left[ \frac{2}{\pi d H} \cdot \frac{\kappa_2 \cdot (2 + \kappa_2)}{(1 + \kappa_2)^2} - B_2 \cdot C_2 \right] \quad (65)$$

Dla uproszczenia, można przyjąć współczynnik  $B_1$ :

$$B_1 = \frac{2}{\pi d H} \cdot \frac{\kappa_2 \cdot (2 + \kappa_2)}{(1 + \kappa_2)^2} - B_2 \cdot C_2 \quad (66)$$

Wtedy:

$$\tau_1 = N_2 \cdot B_1 \quad (67)$$

Celem pracy jest zbadanie możliwości przedstawienia przebiegu składowej normalnej naprężenia na pobocznicy względem głębokości jako związku liniowego z odpowiednią dokładnością do praktycznych obliczeń inżynierskich. Otrzymane wyniki i analiza przypadków będą przedstawione w dalszej części pracy.

## 6.1. Opracowanie badań eksperymentalnych

Podstawowymi założeniami badań analitycznych są stwierdzenia:

- ośrodek gruntowy przyjęto jako jednorodny,
- pal ma stałą średnicę na całej długości,
- zakres obciążenia, w którym przeprowadzane są analizy jest dla  $N_2 < \frac{1}{2} N_{gr2}$ ,
- związek pomiędzy oporem pobocznicy  $\tau(z)$ , a głębokością  $z$  jest liniowy.

Weryfikacja powyższych założeń odbywała się przez analizę prowadzoną za pomocą metody najmniejszych sum kwadratów odchyłek. Badano rozkład wyników otrzymywanych przez porównanie badań eksperymentalnych oraz wyników otrzymanych za pomocą wzoru (53):

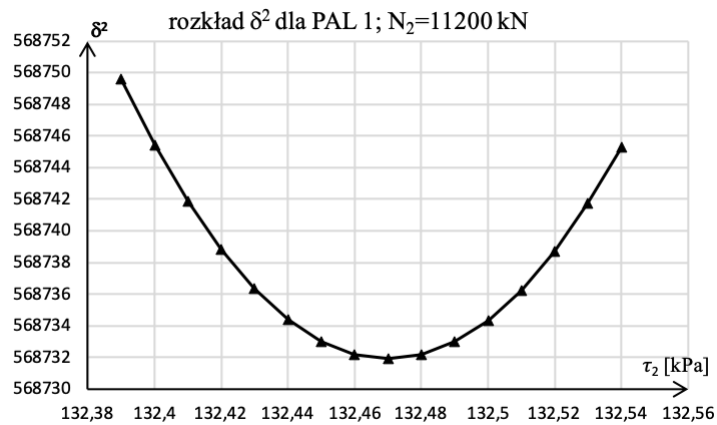
$$N(z) = N_2 - \pi Dh \cdot \left[ \tau_2 \cdot \frac{z}{h} - \left( \tau_2 - \frac{N_2 - N_1}{\pi Dh} \right) \cdot \frac{z^2}{h^2} \right] \quad (53)$$

Jeśli rozkład najmniejszych sum kwadratów odchyłek był normalny, a charakter funkcji  $\tau(z)$  przejawiał charakter liniowy, oznacza to, że przyjęto prawidłowe założenia. Poniżej przedstawiono tabelę z wynikami porównawczymi do każdego z pali, dla największego przyłożonego obciążenia w głowicy oraz rozkłady wyników:

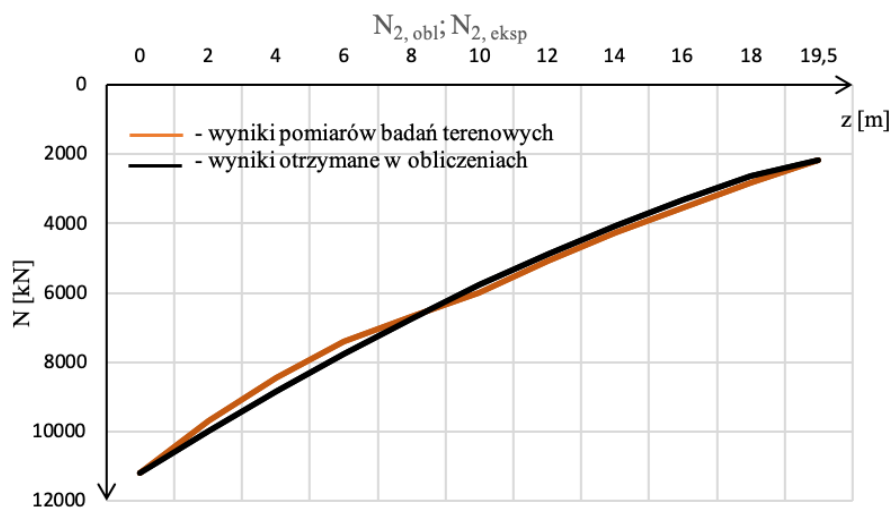


Tabela 7. Tabelaryczne zestawienie wartości sił na długości trzonu pała przy największej sile przyłożonej w głowicy pała 1 [opracowanie Autora]

$\tau_0 = 132,47 \text{ kPa}$			
$z \text{ [m]}$	$N_2 \text{ [kN]}$	$N(z)_{,eksp} \text{ [kN]}$	$N(z)_{,obl} \text{ [kN]}$
0	11200	11200	11200
2		9692,31	9984,39095
4		8461,54	8834,56449
6		7384,62	7750,5206
8		6666,67	6732,2593
10		6000	5779,78057
12		5076,92	4893,08443
14		4256,41	4072,17087
16		3538,46	3317,03989
18		2820,51	2627,69148
19,7		2153,85	2153,85



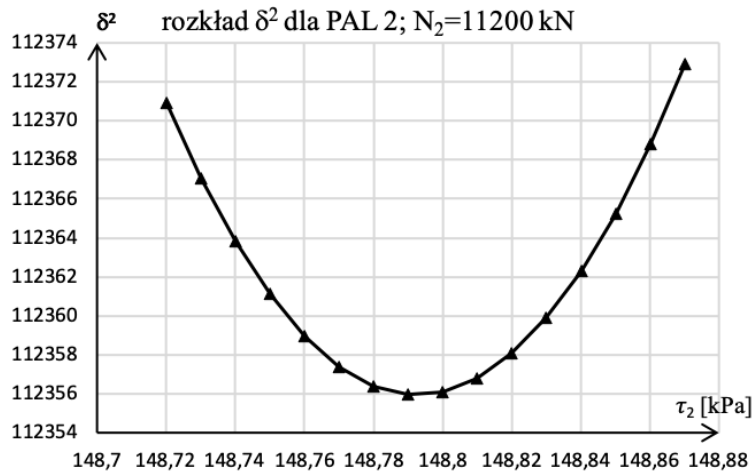
Rys. 47 Rozkład normalny do najmniejszych sum kwadratów odchylek Pała 1 [opracowanie Autora]



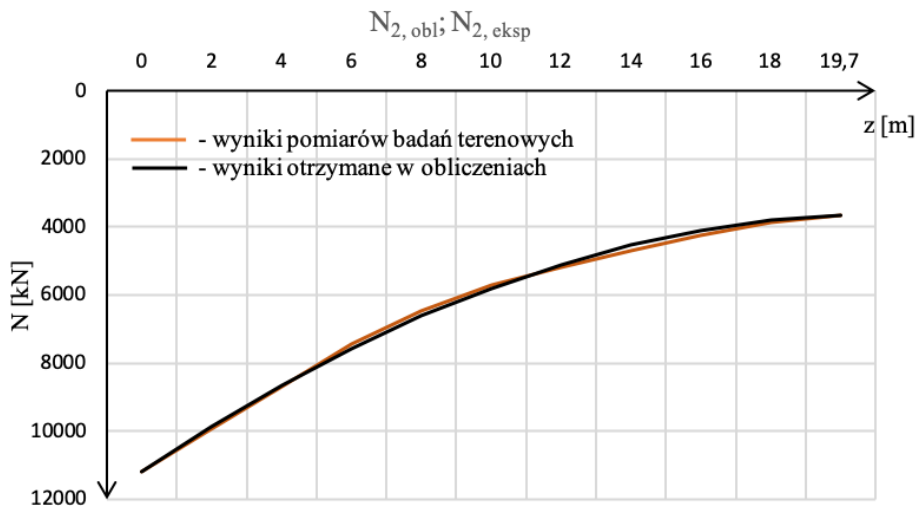
Rys. 48 Porównanie wykresów rozkładu sił obliczonych i z badań terenowych do Pała 1 [opracowanie Autora]

Tabela 8. Tabela zestawienia wartości sił na długości trzonu pała przy największej sile przyłożonej w głowicy pała 2 [opracowanie Autora]

$\tau_0 = 148,79 \text{ kPa}$			
$z \text{ [m]}$	$N_2 \text{ [kN]}$	$N(z)_{,eksp} \text{ [kN]}$	$N(z)_{,obl} \text{ [kN]}$
0	11200	11200	11200
2		9941,18	9862,20676
4		8705,88	8653,45245
6		7435,29	7573,73709
8		6470,59	6623,06066
10		5705,88	5801,42317
12		5176,47	5108,82462
14		4705,88	4545,26501
16		4235,29	4110,74434
18		3882,35	3805,26261
19,7		3647,06	3647,06



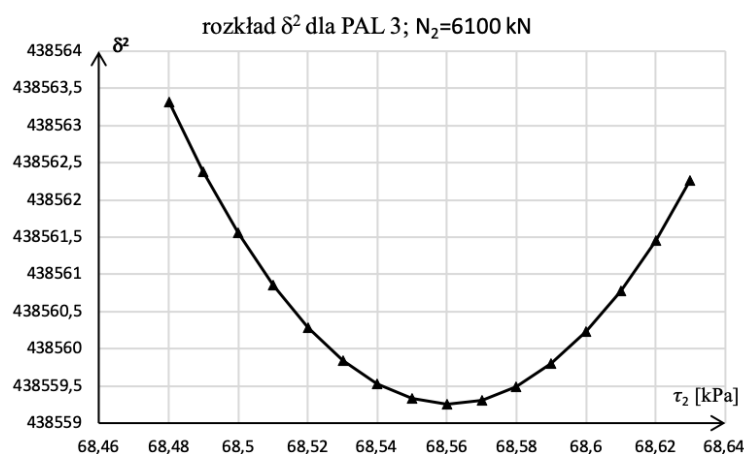
Rys. 49 Rozkład normalny dla najmniejszych sum kwadratów odchyłek Pała 2 [opracowanie Autora]



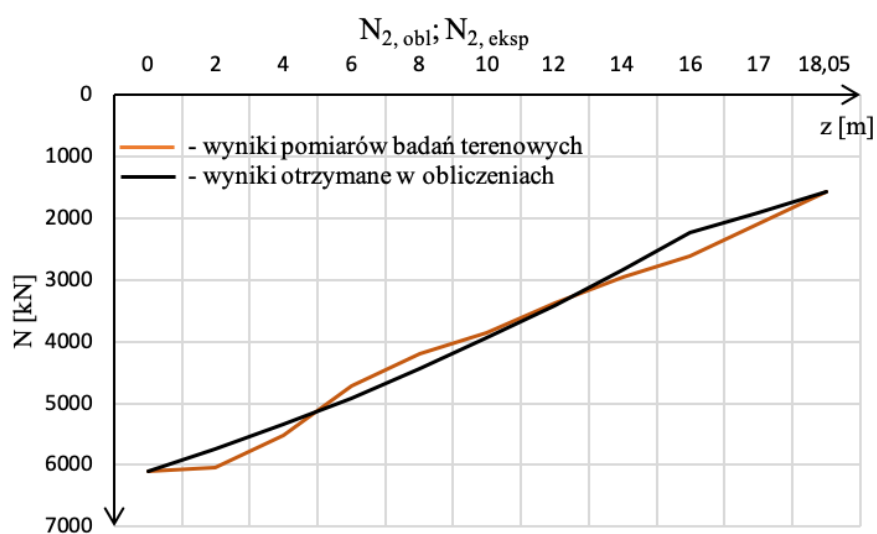
Rys. 50 Porównanie wykresów rozkładu sił obliczonych i z badań terenowych do Pała 2 [opracowanie Autora]

Tabela 9. Tabelaryczne zestawienie wartości sił na długości trzonu pała przy największej sile przyłożonej w głowicy pała 3 [opracowanie Autora]

$\tau_0 =$	68,56 kPa		
z [m]	$N_2$ [kN]	$N(z)_{,eksp}$ [kN]	$N(z)_{,obl}$ [kN]
0	6100	6100	6100
2		6047,62	5737,96595
4		5523,81	5341,1041
6		4714,29	4909,41444
8		4190,48	4442,89698
10		3857,14	3941,55172
12		3380,95	3405,37866
14		2952,38	2834,37779
16		2619,05	2228,54912
17		2095,24	1912,57436
18,05		1571,43	1571,43



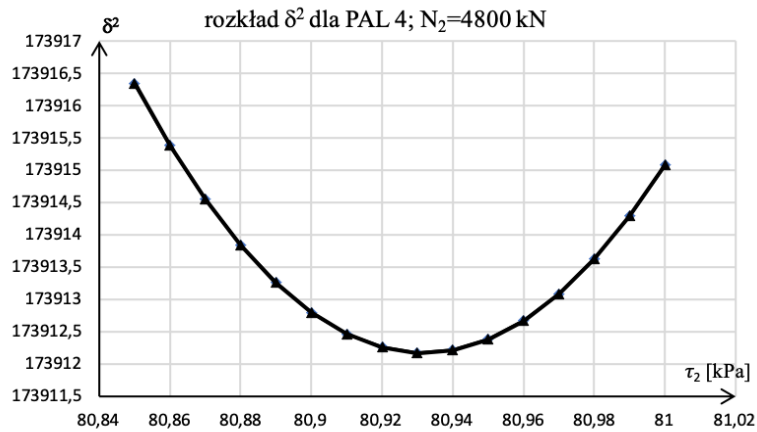
Rys. 51 Rozkład normalny dla najmniejszych sum kwadratów odchyłek Pała 3 [opracowanie Autora]



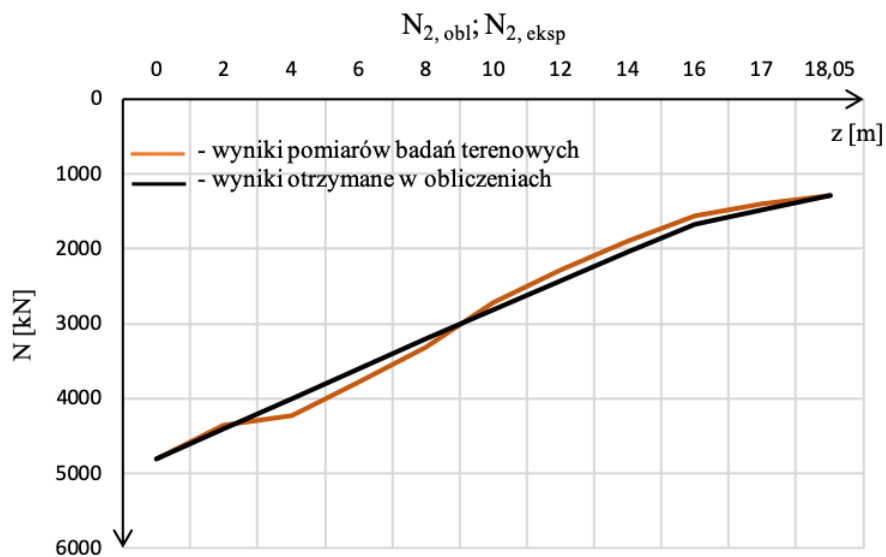
Rys. 52 Porównanie wykresów rozkładu sił obliczonych i z badań terenowych do Pała 3 [opracowanie Autora]

Tabela 10. Tabelaryczne zestawienie wartości sił na długości trzonu pała przy największej sile przyłożonej w głowicy pała 4 [opracowanie Autora]

$\tau_0 =$		80,93	
z [m]	$N_2$ [kN]	$N(z)_{,eksp}$ [kN]	$N(z)_{,obl}$ [kN]
0	4800	4800,00	4800
2		4361,11	4395,16886
4		4222,22	3994,27255
6		3777,78	3597,31106
8		3305,56	3204,28439
10		2722,22	2815,19254
12		2277,78	2430,03552
14		1888,89	2048,81332
16		1555,56	1671,52595
17		1400,00	1484,35782
18,05		1288,89	1288,89



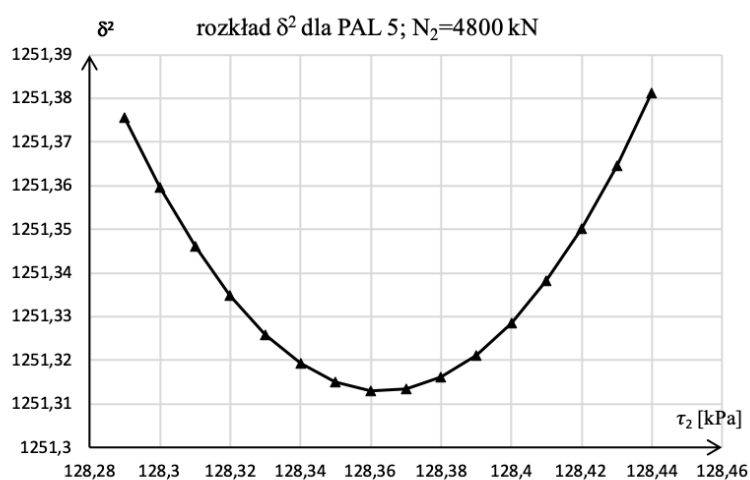
Rys. 53 Rozkład normalny dla najmniejszych sum kwadratów odchyłek Pała 4 [opracowanie Autora]



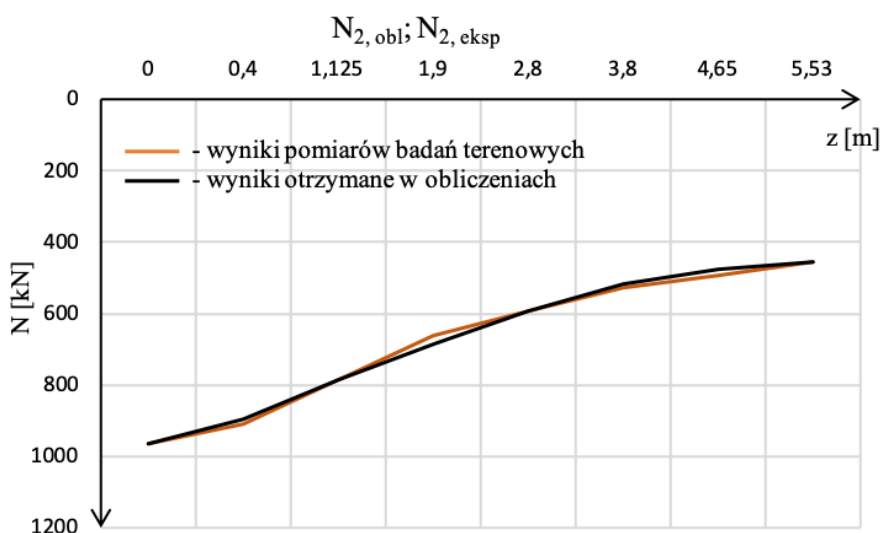
Rys. 54 Porównanie wykresów rozkładu sił obliczonych i z badań terenowych do Pała 4 [opracowanie Autora]

Tabela 11. Tabela zestawienia wartości sił na długości trzonu pała przy największej sile przyłożonej w głowicy pała 5 [opracowanie Autora]

$\tau_0 = 128,36 \text{ kPa}$			
$z \text{ [m]}$	$N_2 \text{ [kN]}$	$N(z)_{\text{eksp}} \text{ [kN]}$	$N(z)_{\text{obl}} \text{ [kN]}$
0	963	963	963,00
0,4		908,2	896,00
1,125		784,96	786,59
1,9		661,73	686,77
2,8		594,43	593,08
3,8		527,14	516,99
4,65		494,69	475,50
5,53		455	455,00



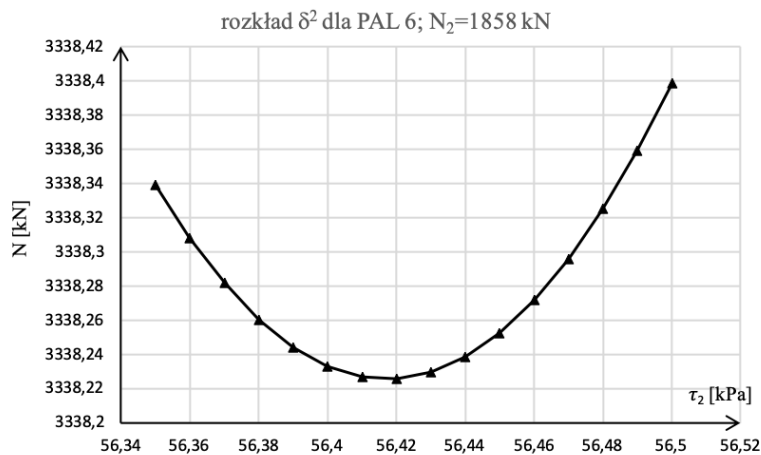
Rys. 55 Rozkład normalny dla najmniejszych sum kwadratów odchyłek Pała 5 [opracowanie Autora]



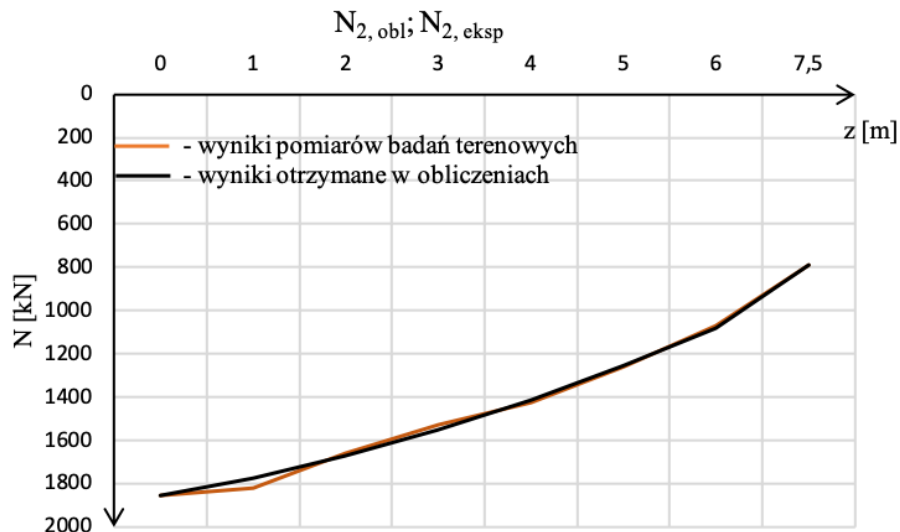
Rys. 56 Porównanie wykresów rozkładu sił obliczonych i z badań terenowych do Pała 5 [opracowanie Autora]

Tabela 12. Tabelaryczne zestawienie wartości sił na długości trzonu pała przy największej sile przyłożonej w głowicy pała 5 [opracowanie Autora]

$\tau_0 =$		56,42	
z [m]	$N_2$ [kN]	$N(z)_{,eksp}$ [kN]	$N(z)_{,obj}$ [kN]
0	1858,82353	1858,82	1858,82
1		1823,53	1773,74
2		1658,82	1670,91
3		1529,41	1550,34
4		1423,53	1412,03
5		1258,82	1255,98
6		1070,59	1082,19
7,5		788,24	788,24



Rys. 57 Rozkład normalny dla najmniejszych sum kwadratów odchylek Pała 5 [opracowanie Autora]

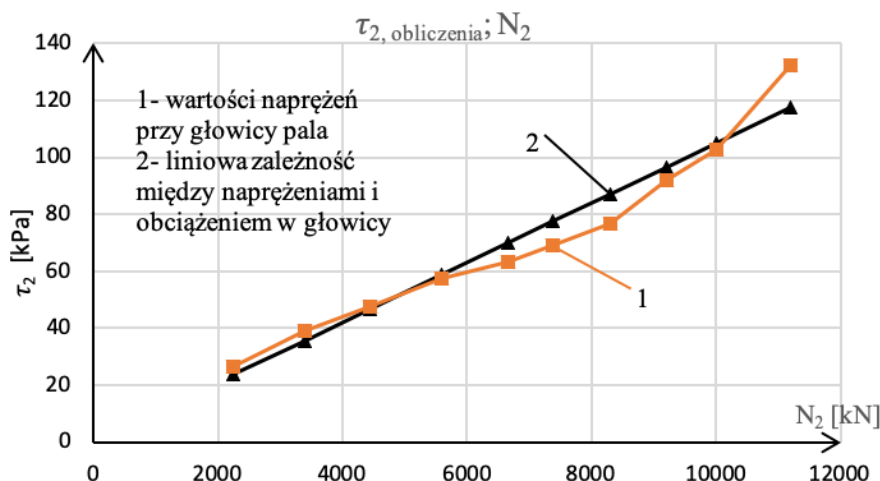


Rys. 58 Porównanie wykresów rozkładu sił obliczonych i z badań terenowych do Pała 5 [opracowanie Autora]

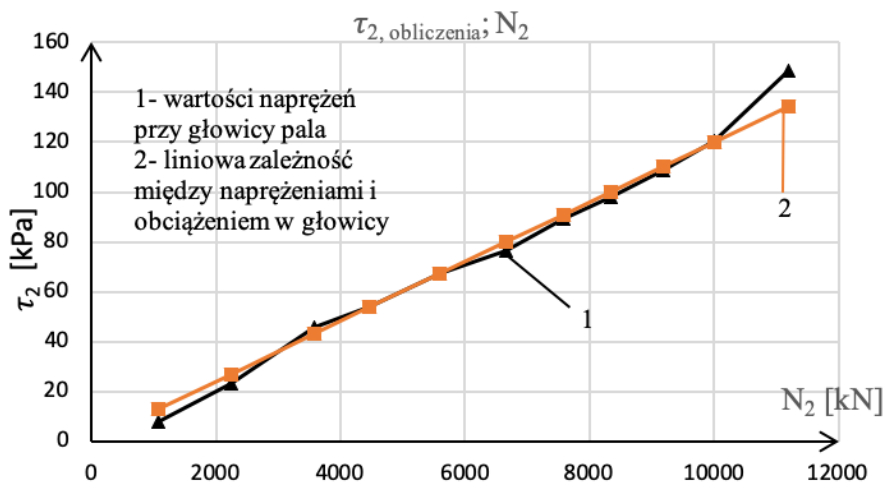
Porównane wyniki pozwalają estymować wartość  $\tau_2$  w poziomie głowicy pała i następnie używając wzoru (28):

$$\tau_1(s_2) = \frac{N_2(s_2) - N_1(s_2)}{\pi Dh} \cdot 2 - \tau_2(s_2) \quad (68)$$

Określano wartość naprężenia u podstawy pała. Jeżeli wartości rozkładu  $\tau_2$  i  $\tau_1$  przejawiają charakter liniowy, można stwierdzić, że z wystarczającą do praktycznych celów inżynierskich dokładnością, założenia są słuszne. Rozkłady funkcji przedstawiono na wykresach poniżej na rys. 59 i rys. 60.



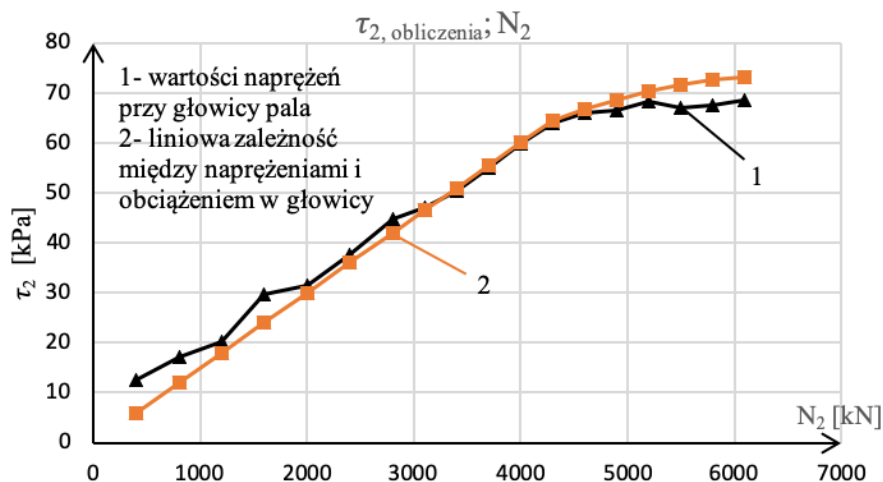
Rys. 59 Liniowa zależność między siłą przyłożoną w głowicy pała, a naprężeniem w poziomie głowicy, pal 1,  $B_2 \cdot C_2 = 0,0105$  [opracowanie Autora]



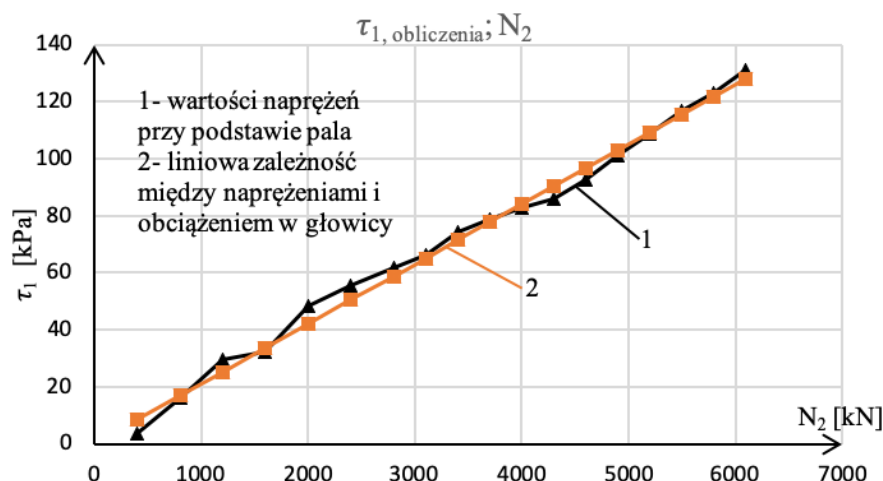
Rys. 60 Liniowa zależność między siłą przyłożoną w głowicy pała, a naprężeniem w poziomie głowicy, pal 2,  $B_2 \cdot C_2 = 0,0125$  [opracowanie Autora]

Pal 1 oraz pal 2 w przypadku głowicy dobrze wpisały się w liniowe rozkłady naprężenia. Wnioskujemy o tym z wykresu naprężenia w podstawie pała, który

charakteryzuje wykorzystanie możliwości nośnych w wyżej wymienionej podstawie i powstanie klina pod podstawą pala, co opisano w podsumowaniu części eksperymentalnej.



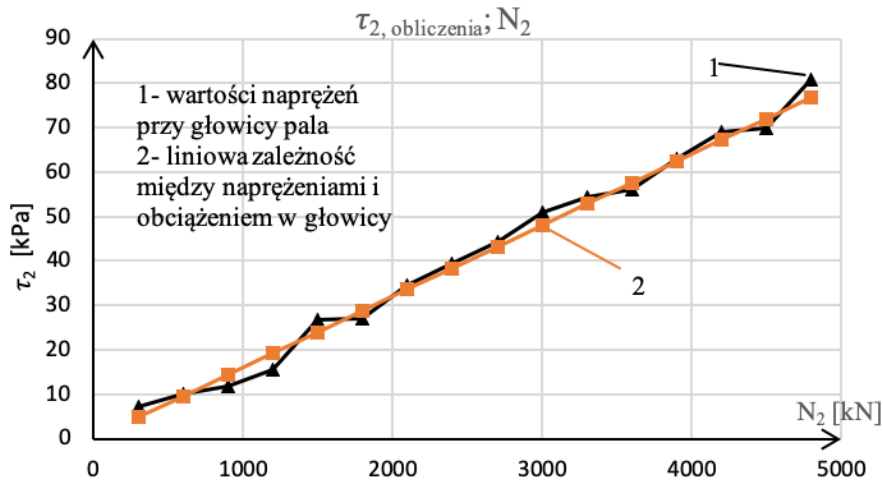
Rys. 61 Liniowa zależność między siłą przyłożoną w główicy pala, a naprężeniem w poziomie główicy, pal 3,  $B_2 \cdot C_2 = \{0,12; 0,15\}$  [opracowanie Autora]



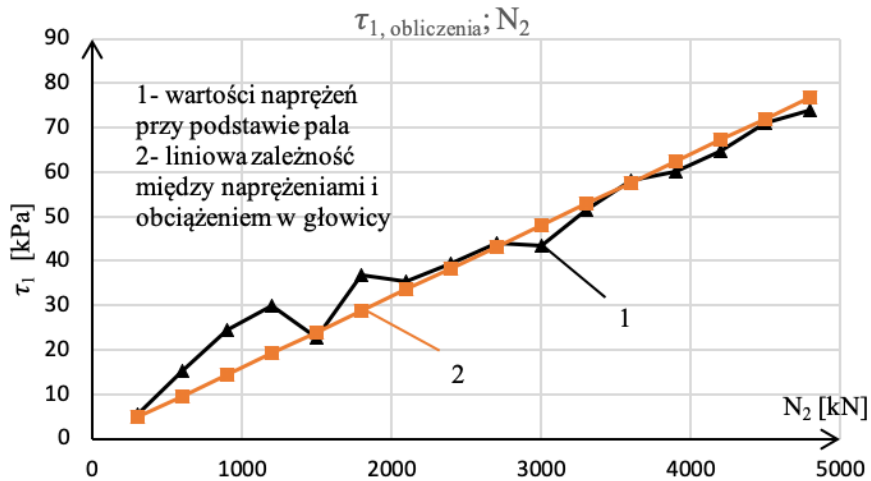
Rys. 62 Liniowa zależność między siłą przyłożoną w główicy pala, a naprężeniem w poziomie podstawy pal 3,  $B_1 = 0,021$  [opracowanie Autora]

Pal 3 w odniesieniu do główicy wykazuje drobne przelamanie i zmianę nachylenia naprężenia w główicy pala. Oznacza to ustabilizowanie naprężenia w tym obszarze. Dopasowanie metody uproszczonej do takiego rozkładu naprężenia wymaga zastosowania różnych wartości współczynnika  $B_2$ . W przypadku podstawy pala wykres liniowy dobrze odwzorowuje rozkład otrzymany metodą elementarną.



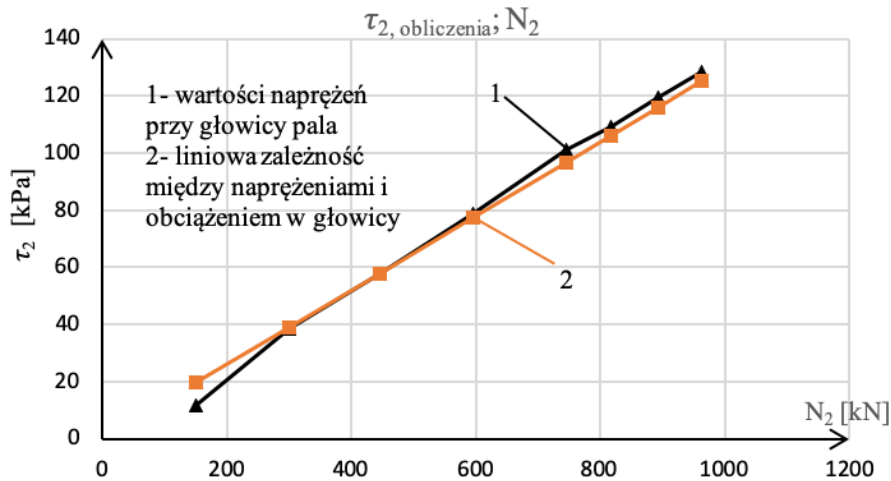


Rys. 63 Liniowa zależność między siłą przyłożoną w głowicy pala, a naprężeniem w poziomie głowicy, pal 4,  $B_2 \cdot C_2 = 0,016$  [opracowanie Autora]

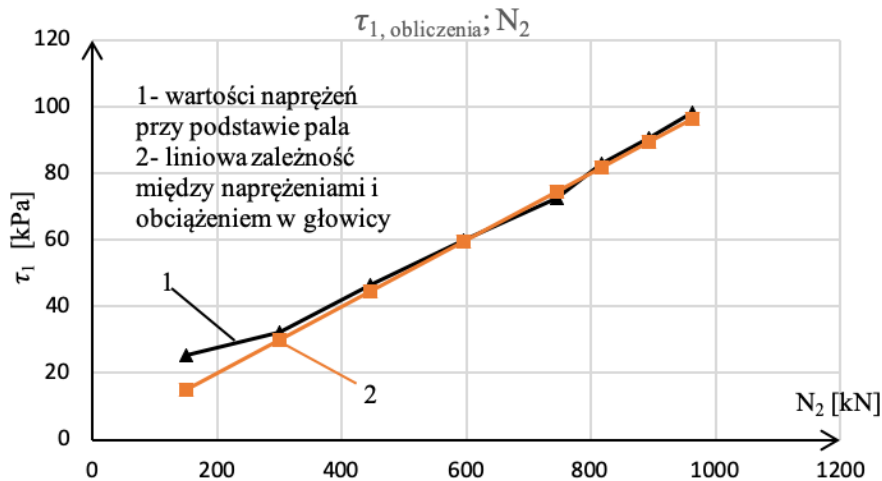


Rys. 64 Liniowa zależność między siłą przyłożoną w głowicy pala, a naprężeniem w poziomie podstawy pal 4,  $B_1 = 0,016$  [opracowanie Autora]

Pal 4 poza drobnymi odchyłkami wartości w odniesieniu do podstawy, które mogą być spowodowane stanem gruntu, charakteryzuje się liniowym rozkładem naprężenia, co oddaje rozkład otrzymany metodą elementarną.



Rys. 65 Liniowa zależność między siłą przyłożoną w głowicy pala, a naprężeniem w poziomie głowicy, pal 5,  $B_2 \cdot C_2 = 0,13$  [opracowanie Autora]



Rys. 66 Liniowa zależność między siłą przyłożoną w głowicy pala, a naprężeniem w poziomie podstawy pal 5,  $B_1 = 0,1$  [opracowanie Autora]

W przypadku pala 5, otrzymywane wartości przy pomocy metody uproszczonej oraz metody elementarnej, są niemal identyczne.

Przeprowadzone weryfikacje obliczeniowe stanowią podstawę ku temu, żeby do dalszych prac nad rozkładem naprężenia przyjąć poniższą zależność:

$$\tau(z) = \tau_2 \cdot z - (\tau_2 - \tau_1) \cdot \frac{z^2}{h} \quad (69)$$

Rozkład sił wzdłuż osi pała prezentowany jest z kolei przez poniższą zależność:

$$N(z) = \pi D \cdot \int_0^z \tau(z) dz = \left( \tau_2 \cdot \frac{z}{h} - \frac{1}{2} \cdot \tau_1 \cdot \frac{z^2}{h^2} + \text{const.} \right) \cdot \pi D h \quad (70)$$

W związku z tym, ogólną postać opisująca wartości sił w trzonie pała można przedstawić jako funkcję kwadratową:

$$N(z) = a_0 + a_1 \cdot z + a_2 \cdot z^2 \quad (71)$$

Przy znanych wynikach badań terenowych, tworzących zbiór  $\{N_i; z_i\}$ , możliwa jest aproksymacja kwadratowa powyższej funkcji używając znanych danych.

Za pomocą wzorów (69), (70) możliwe jest wyznaczenie wartości naprężenia na podstawie stałych ze wzoru (71). Co następuje:

$$N(z) = N_2 - \pi D \int_0^z \tau(z) dz \quad (72)$$

Poprzez różniczkowanie otrzymuje się:

$$\tau(z) = -\frac{dN(z)}{dz} \quad (73)$$

oraz

$$\frac{dN(z)}{dz} = -\pi D \tau(z) \quad (74)$$

Stosując (71) do (74) można wyznaczyć związek:

$$\frac{dN(z)}{dz} = a_1 + 2 \cdot a_2 \cdot z = -\pi D \cdot \tau(z) \quad (75)$$

Dzięki otrzymanym wartościom stałych równania (71) przez zastosowanie aproksymacji kwadratowej oraz związku (75) można wyznaczyć wartości naprężenia w poziomie podstawy i głowicy pała:

$$a_1 + 2 \cdot a_2 \cdot z = -\pi D \cdot \tau_2 + (\tau_2 - \tau_1) \cdot \frac{z}{h} \quad (76)$$

Więc:

$$a_1 = -\pi D \cdot \tau_2 \quad (77)$$

oraz

$$2 \cdot a_2 = (\tau_2 - \tau_1) \cdot \frac{\pi D}{h} \quad (78)$$

$$\tau_2 = -\frac{a_1}{\pi D} \quad (79)$$

$$\tau_1 = -\frac{a_1}{\pi D} - \frac{2 \cdot a_2 \cdot h}{\pi D} \quad (80)$$

Poprzez wykazanie tych zależności możliwa jest analiza wyników w postaci zagregowanej. Propozycja powyższa stanowi wyraźne ułatwienie w interpretacji wyników próbnych obciążeń statycznych, gdy posiadamy dodatkowo pomiary tensometryczne określające osiowe zmiany siły w trzonie pała. Metoda ta będzie nazywana w dalszej części pracy również jako metoda analityczna regresji.

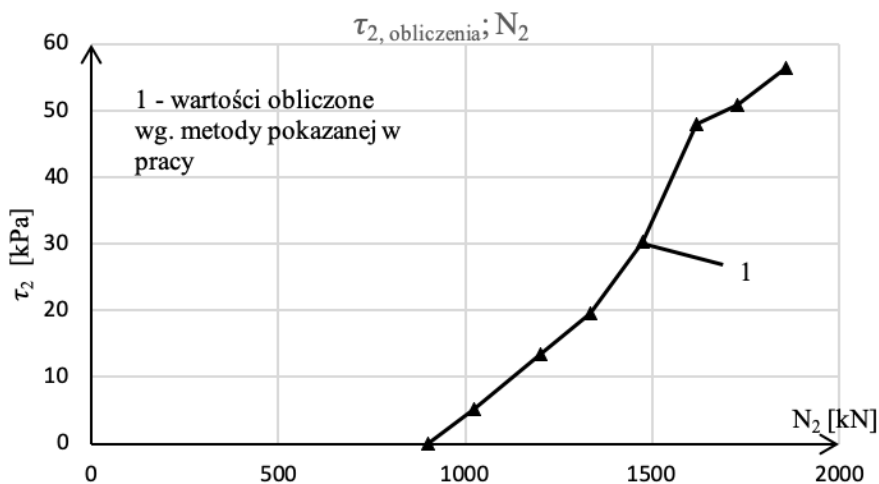
Tabela 13. Wzór otrzymany aproksymacją kwadratową oraz wartości  $\tau_2'$  – otrzymane metodą analityczną regresji,  $\tau_2$  – otrzymane na podstawie pełnej analizy badań terenowych [opracowanie Autora]

$z$ [m]	$N(z)$ [kN]	równanie po aproksymacji kwadratowej	$\tau_2'$ [kPa]	$\tau_2$ [kPa]
0	6100	$f(z) = 0,11z^2 - 207,31z + 4875,93$	82,4860281	80,93
2	6047,62			
4	5523,81			
6	4714,29			
8	4190,48			
10	3857,14			
12	3380,95			
14	2952,38			
16	2619,05			
17	2095,24			
18,05	1571,43			

Do każdego stanu obciążenia głowicy pala  $N_2$  wykonanego podczas badań terenowych jest wykonywano analizę za pomocą aproksymacji kwadratowej. Dzięki temu możliwe jest przeanalizowanie rozkładu naprężenia w głowicy i podstawie pala oraz porównanie ich do wcześniejszych, dokładniejszych obliczeń. Porównanie wartości przedstawiono na wykresach poniżej analizowanych pali. W praktyce można stosować metodę analityczną regresji. Przykładowe wartości liczbowe przedstawiono w tabeli 13.

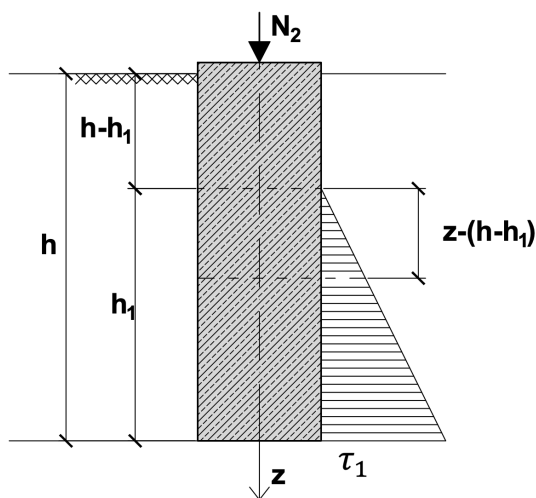
## 6.2. Przypadki szczególne rozkładu naprężenia na poboczniczy

W przypadku jednego z analizowanych pali niemożliwe było uzyskanie rozkładu normalnego przy zastosowanej metodzie najmniejszych sum kwadratów odchyłek na całej długości pala. Otrzymywane wyniki, przedstawione w formie graficznej na rys. 67 sugerowały, że naprężenie osiągało wartość minimalną przy niektórych wartościach siły w głowicy  $N_2$ . Sugeruje on, że przy sile  $N_2 < 990 \text{ kN}$ ,  $\tau_2 = 0$ .



Rys. 67 Wykres zależności między siłą w głowicy pala, a naprężeniem w poziomie głowicy pala [opracowanie Autora]

W przypadku takiego rozkładu naprężenia w poziomie głowicy nasuwającym się wnioskiem jest stwierdzenie, że mobilizacja naprężenia na poboczniczy pala na wysokości głowicy pala odbywa się dopiero po przekroczeniu  $N_2 > 900 \text{ kN}$ . Stąd do przeprowadzenia prawidłowej analizy konieczne jest odpowiednie zmodyfikowanie podejścia obliczeniowego. Prawidłowy schemat będzie pokazany na rysunku rys. 68-69.



Rys. 68 Schemat naprężenia na poboczniczy pala do przypadku pala 6 [opracowanie Autora]

W przedstawionym schemacie postać równania liniowego na naprężenia  $\tau(z)$  jest następująca:

$$\tau(z) = \tau_1 \cdot \frac{z-(h-h_1)}{h_1} \quad (81)$$

Równanie spełnia warunki takie, że:

Przy  $z = h - h_1$  jest  $\tau = 0$ ;

Przy  $z = h$  jest  $\tau = \tau_1$ ;

Przy  $0 < z < h - h_1$  to  $\tau = 0$ ;

Wtedy  $N(z) = const. = N_2$

Z powyższymi założeniami równanie pionowego rozkładu siły w osi pała można przedstawić następująco:

$$N(z) = N_2 - \pi D \int_{h-h_1}^z \tau(z) dz = N_2 - \pi D \int_{h-h_1}^z \tau_1 \cdot \frac{z-(h-h_1)}{h_1} dz \quad (82)$$

$$N(z) = N_2 \pi D \cdot \tau_1 \cdot h_1 \int_{h-h_1}^z \frac{z-(h-h_1)}{h_1} d\left(\frac{z-(h-h_1)}{h_1}\right) \quad (83)$$

Co daje:

$$N(z) = N_2 \pi D \cdot \tau_1 \cdot h_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{z-(h-h_1)}{h_1}\right)^2 \quad (84)$$

Ostatecznie otrzymuje się:

$$N(z) = N_2 - \pi D \cdot \tau_1 \cdot h_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{z-(h-h_1)}{h_1}\right)^2 \quad (85)$$

Należy założyć:

$$h - h_1 < z < h \quad (86)$$

$$\text{dla } 0 < z < h - h_1 \rightarrow N_2 = const. = N(z) \quad (87)$$

Funkcję tę można przedstawić w postaci funkcji kwadratowej

$$N(z) = N_2 - \frac{1}{2} \pi D \cdot \tau_1 \cdot h_1 \cdot \left(\frac{z-(h-h_1)}{h_1}\right)^2 \quad (88)$$

$$N(z) = N_2 - \frac{1}{2} \pi D \tau_1 \cdot \frac{D}{h_1} \cdot [z^2 - 2 \cdot z \cdot (h - h_1) + (h - h_1)^2] \quad (89)$$

Po uporządkowaniu otrzymywana jest ostateczna postać:

$$N(z) = \left(N_2 - \frac{\pi}{2} \tau_1 \cdot \frac{D}{h_1} \cdot (h - h_1)^2\right) + \pi \cdot \frac{\tau_1 D (h - h_1)}{h_1} \cdot z - \frac{1}{2} \pi \cdot \tau_1 \cdot \frac{D}{h_1} \cdot z^2 \quad (90)$$

Z równania (49) otrzymywane są następujące związki:

$$a_1 = \pi \frac{(\tau_1 \cdot D \cdot (h - h_1))}{h_1} \quad (91)$$

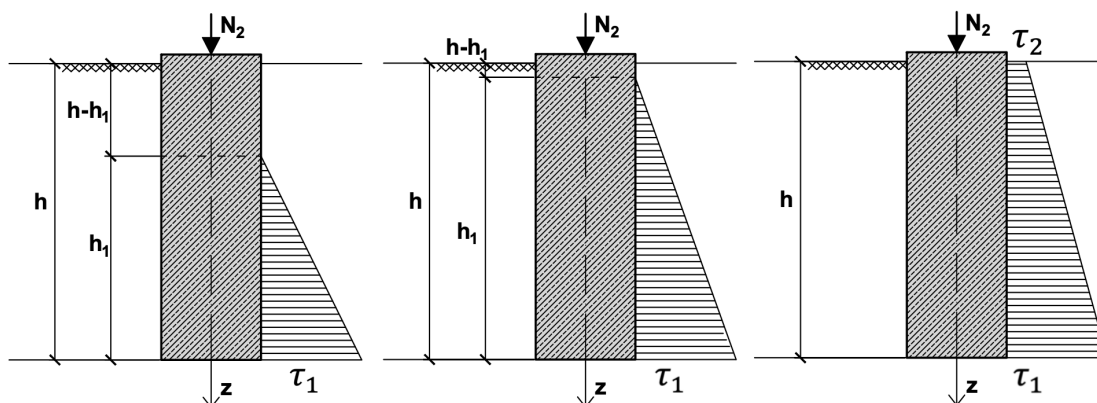
$$a_2 = -\frac{1}{2} \pi \cdot \frac{\tau_1 \cdot D}{h_1} \quad (92)$$

z których wynika związek na wielkość naprężenia w podstawie pała:

$$h_1 = h + \frac{1}{2} \cdot \frac{a_1}{a_2} \quad (93)$$

$$\tau_1 = -\frac{2a_2 \cdot h_1}{\pi D} \quad (94)$$

Ogólna postać jest otrzymywana poprzez aproksymację kwadratową na podstawie zbioru  $\{N_i; z_i\}$ . Schemat formowania się rozkładu naprężenia na pobocznicy może być przedstawiony jak na rys. 69.



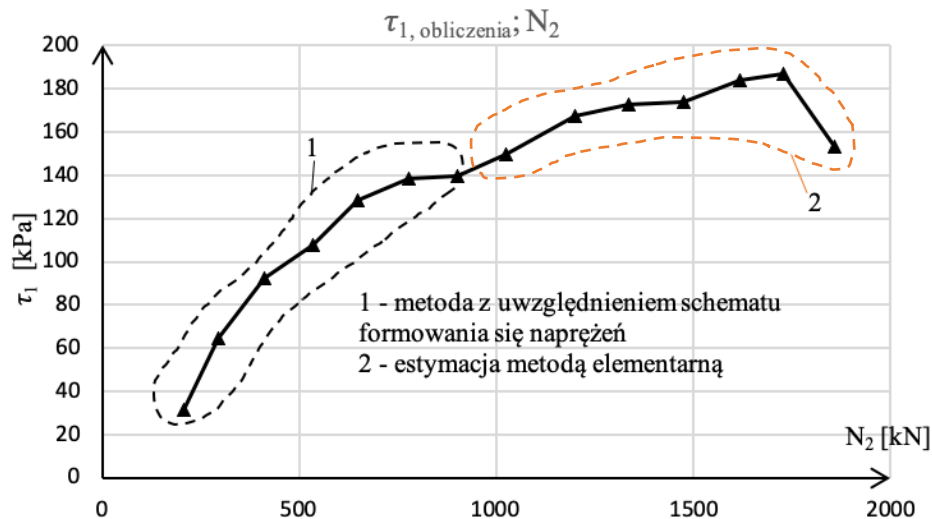
Rys. 69 Schemat formowania się naprężenia do pała 6 [opracowanie Autora]

Jak wynika z Rys. 67 siła, po której przekroczeniu pojawia się naprężenie na wysokości głowicy pała to  $N_2 > 900 \text{ kN}$ . Dlatego przeanalizowano przebieg formowania się naprężenia w podstawie pała do momentu osiągnięcia tej wartości siły  $N_2 = 900 \text{ kN}$ .

Tabela 14. Wartości naprężenia w  $\tau_1$  oraz schematu formowania się  $h_1$  w zależności od siły  $N_2$  [opracowanie Autora]

$N_2$ [kN]	$\tau_1$ [kPa]	$h_1$ [m]
900	139,75	6,78
776,47	138,52	6,99
647,06	128,19	7,11
535,29	107,99	7,13
411,77	92,11	7,23
294,12	64,40	7,19
205,88	31,16	6,08

Dzięki połączeniu dwóch metod, możliwe jest sporządzenie pełnego przebiegu formowania się naprężenia na całej długości pala. Rys. 67 prezentuje wzrost naprężenia w poziomie głowicy pala, natomiast pokazano na rysunku Rys. 70 formowanie naprężenia w podstawie pala.



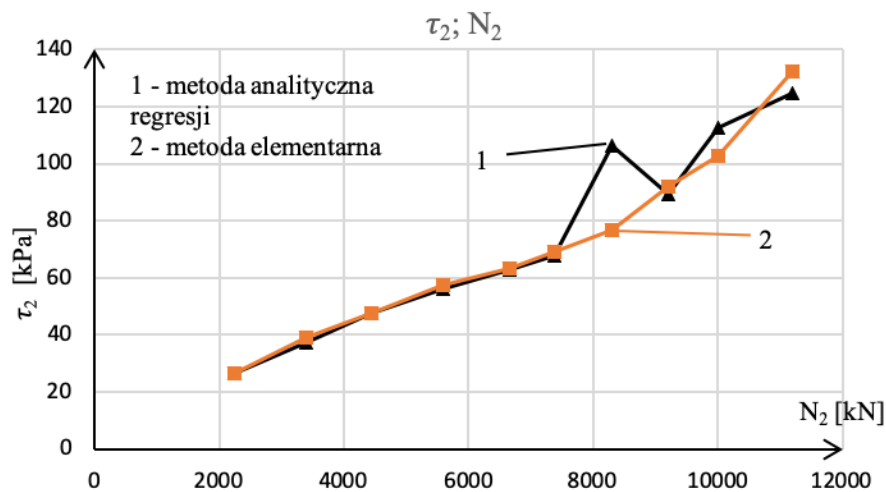
Rys. 70 Rozkład naprężenia w podstawie pala 6 po zastosowaniu dopasowanej metody obliczeniowej [opracowanie Autora]

Dzięki odpowiedniej interpretacji schematu formowania się naprężenia przy obciążaniu pala, możliwa była modyfikacja metody obliczeniowej w celu przedstawienia pracy pala w pełnym zakresie obciążenia.

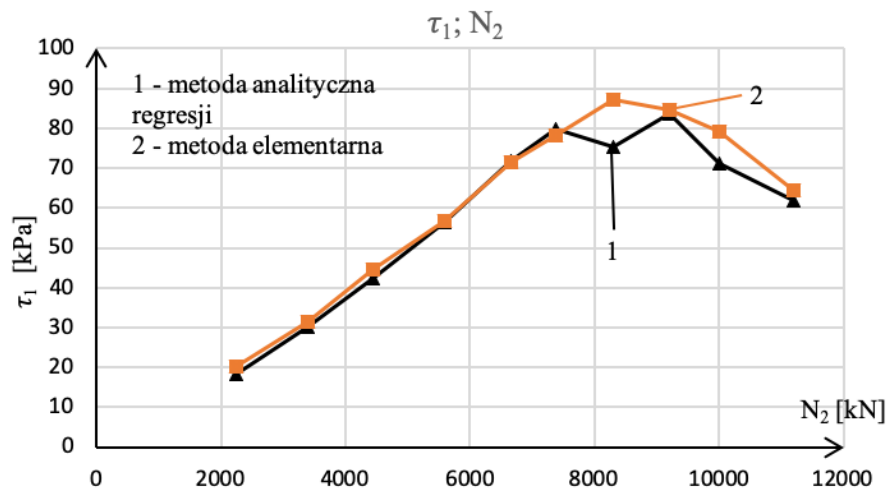


### 6.3. Porównanie wyników badań eksperymentalnych z wynikami obliczonymi metodą analityczną

W przypadku pała 1 rozkład naprężenia zarówno dla głowicy jak i podstawy pała dla obu metod jest podobny. Mimo charakterystycznego w tym przypadku sposobu współpracy pała z gruntem w obszarze jego podstawy, metoda uproszczona prawidłowo określa ten schemat pracy. Wykresy na rys. 71 i rys. 72 przedstawiają wykresy do pała 1.

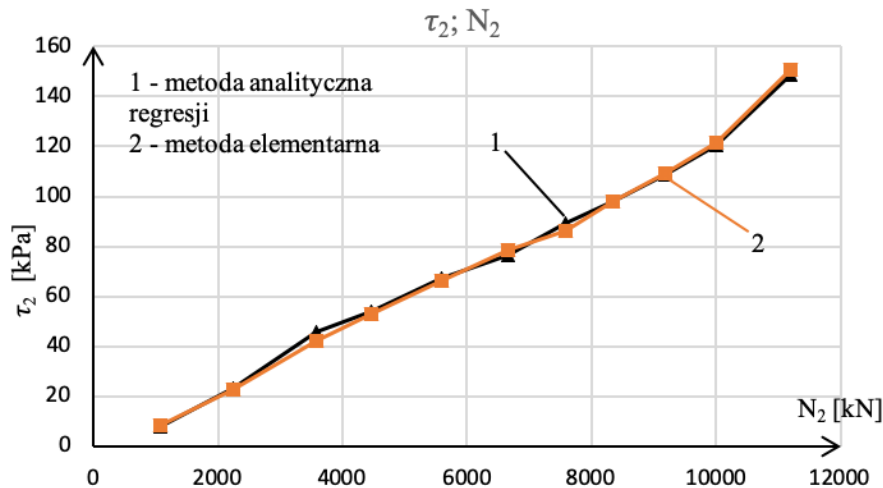


Rys. 71 Porównanie wartości naprężenia w głowicy pała 1 obiema metodami [opracowanie Autora]



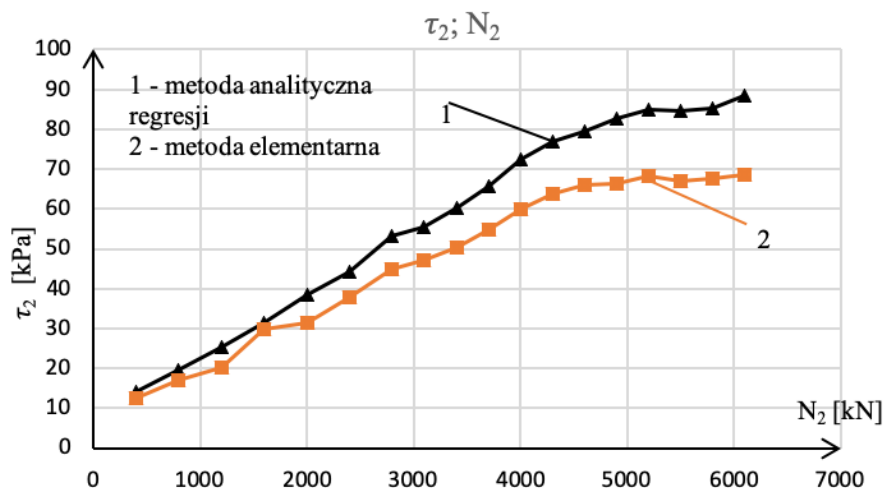
Rys. 72 Porównanie wartości naprężenia w podstawie pała 1 obiema metodami [opracowanie Autora]

W przypadku pała 2 możliwe było otrzymanie idealnej korelacji między zastosowanymi metodami w głowicy pała. Rozkład wyznaczony obiema metodami pozwolił na otrzymanie praktycznie tych samych wyników. Wykres na rys. 73 przedstawia wykres do pała 2.

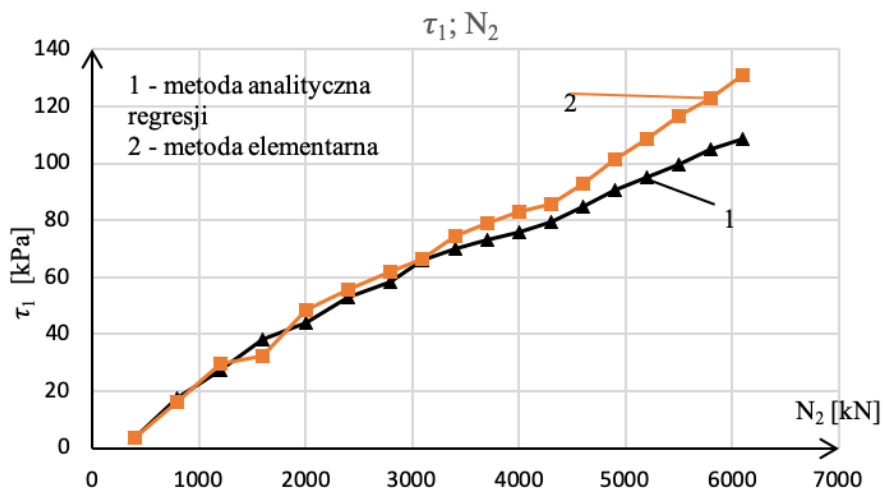


Rys. 73 Porównanie wartości naprężenia w głowicy pała 2 obiema metodami [opracowanie Autora]

W przypadku pała 3 możliwe było uzyskanie zbliżonych rozkładów naprężenia w podstawie i głowicy. W głowicy widoczne są różnice wartości dochodzące do 20%, w podstawie do około 10%. Wykresy na rys. 74 i rys. 75 przedstawiają wykresy do pała 3.

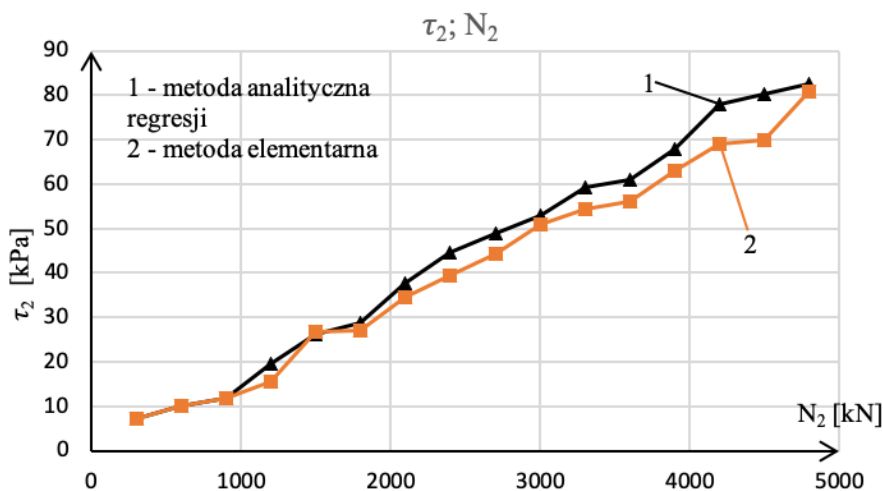


Rys. 74 Porównanie wartości naprężenia w głowicy pała 3 obiema metodami [opracowanie Autora]

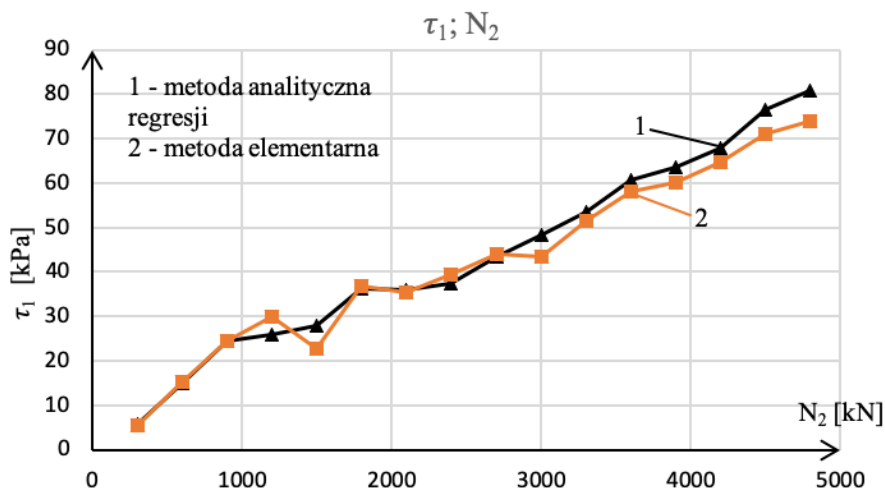


Rys. 75 Porównanie wartości naprężenia w podstawie pała 3 obiema metodami [opracowanie Autora]

W odniesieniu do pała 4 uzyskano w podstawie i głowicy zbliżone rozkłady i wartości naprężenia. Mimo drobnych odchyłeń metoda analityczna regresji prawidłowo pokazuje schemat współpracy pała z gruntem i otrzymywane wartości. Wykresy na rys. 74 i rys. 75 przedstawiają wykresy do pała 4.

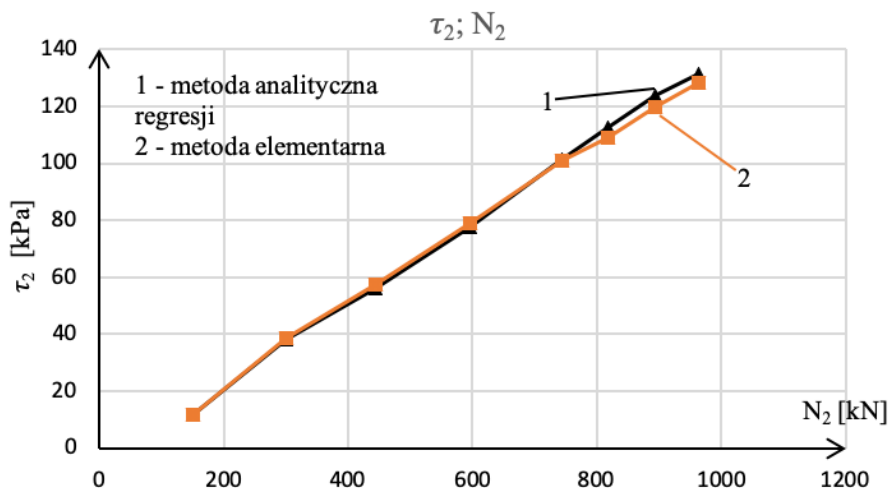


Rys. 76 Porównanie wartości naprężenia w głowicy pała 4 obiema metodami [opracowanie Autora]



Rys. 77 Porównanie wartości naprężenia w podstawie pala 4 obiema metodami [opracowanie Autora]

W przypadku pala 5 w jego podstawie przy zastosowaniu metody analitycznej regresji oraz metody elementarnej otrzymano identyczny rozkład. W odniesieniu do podstawy analizowanej za pomocą metody analitycznej regresji nie było możliwe otrzymanie wartości zbliżonych do metody elementarnej. Wykres na rys. 78 przedstawia wykresy do pala 5.



Rys. 78 Porównanie wartości naprężenia w głowicy pala 5 obiema metodami [opracowanie Autora]

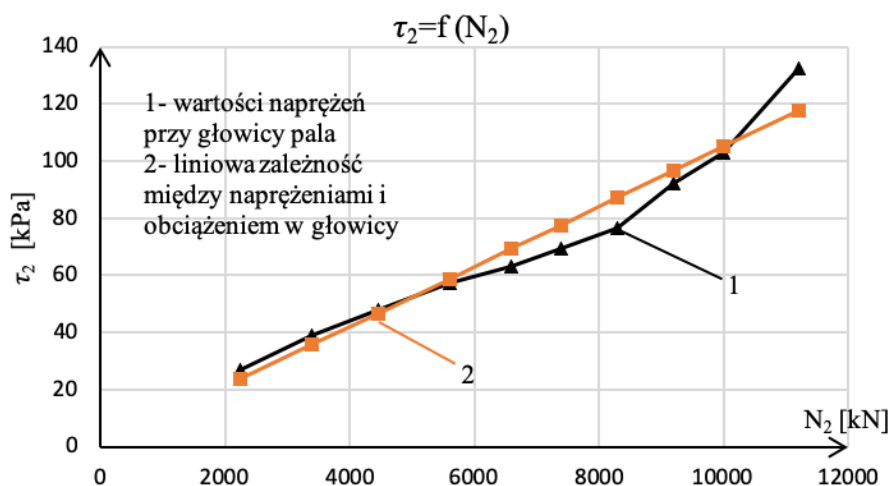
Rozbieżności na rys. 71, 72, 74, 75 wynikają z tego, że zadany zakres obciążeń wykracza poza obszar liniowej teorii sprężystości. Pokazuje to, że założenie liniowej teorii sprężystości wprowadza błędy systematyczne przy dużych  $N_2$ .

## 6.4. Podsumowanie badań eksperymentalnych

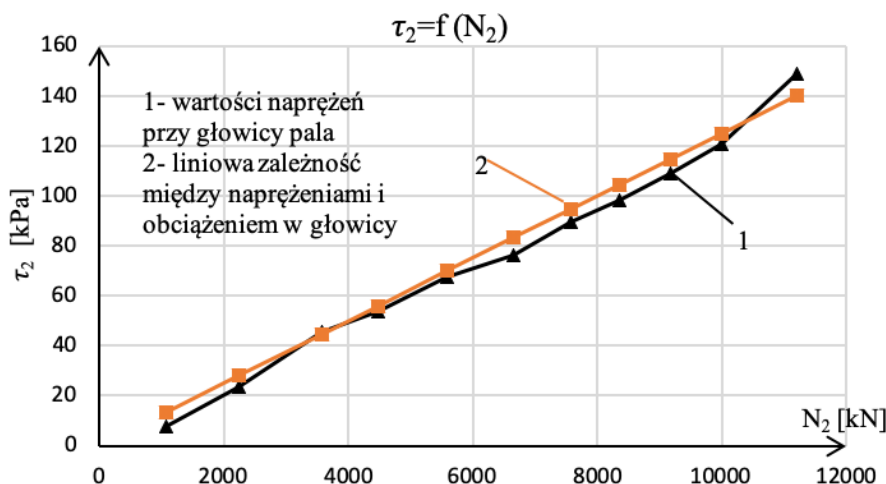
Badania eksperymentalne przeprowadzono w warunkach naturalnych czterech pali, dodatkowo została przeprowadzona analiza dwóch przypadków opisywanych w literaturze przedmiotu [42]. Głównym założeniem badań było sprawdzenie, czy w gruncie jednorodnym możliwe jest przedstawienie związku między naprężeniem zachodzącym w poziomie głowicy pala  $\tau_2$  oraz w podstawie pala  $\tau_1$  przy pomocy związków liniowych. Udowodniono w 5 przypadkach, że  $\tau_2$  może być przedstawione w formie funkcji liniowej opisanej wzorem (61). Przy odpowiednich wartościach współczynników  $B_0$  oraz  $B_1$  funkcje liniowe pokrywały się z wykresami wyznaczonymi za pomocą złożonej analizy obliczeniowej opartej na wynikach badań terenowych.

W odniesieniu do pali 3, 4, 5 otrzymano liniowe interpretacje zarówno dla naprężenia na poziomie głowicy, jak i w podstawie pala. W przypadku pala nr 3 widoczne jest przełamanie, przedstawione na rys. 61, co wymagało drobnej korekty współczynnika  $B_2$ . Na tym etapie analiz niemożliwe okazuje się stwierdzenie, jakie są przyczyny takiej różnicy w wynikach, ponieważ mogły się zdarzyć błędy na etapie wykonywania badań terenowych, w procesie ich interpretacji, jak również w trakcie prowadzonych analiz matematycznych, pokazanych w niniejszej pracy. Pozostałe wykresy natomiast doskonale spełniają założone warunki.

W przypadku pali 1 i 2 otrzymano zbieżne wykresy z założeniami jedynie do naprężenia  $\tau_2$  pokazanych na wykresach na rys. 79 i rys. 80.



Rys. 79 Porównanie liniowej zależności oraz rozkładu otrzymanego w analizach matematycznych, pal 1  
[opracowanie Autora]



Rys. 80 Porównanie liniowej zależności oraz rozkładu otrzymanego w analizach matematycznych, pal 2 [opracowanie Autora]

W przypadku pala 6 podczas pierwszych analiz rozkładu naprężenia na poboczniczy pala, niemożliwe było otrzymanie pełnego rozkładu na całej długości pala. Analizy przy zastosowaniu metody najmniejszych sum kwadratów różnic odchyłek nie wskazywały na występowanie ekstremum. Wartości naprężenia, które było otrzymywane, jak wynika z rys. 67, sugerowały inny schemat pracy pala, ponieważ przyjmowały wartości ujemne.

Jedną z metod potwierdzających założenia opisywanego zjawiska, jest uzyskanie w badaniach eksperymentalnych normalnego rozkładu sumy kwadratów odchyłek. W pierwszej części Autor wykorzystał tę metodę, przedstawiając rozkłady kwadratów odchyłek i uzyskane krzywe, które potwierdzają normalny rozkład (rys. 47, rys. 49, rys. 51, rys. 53, rys 55, rys 57), co uzasadnia możliwość przyjęcia założeń upraszczających w pierwszej części pracy. Po uzyskaniu potwierdzenia możliwości przyjęcia (do celów praktycznych obliczeń) uproszczeń w części analitycznej, w dalszej części pracy, przy opracowaniu wyników badań eksperymentalnych Autor posłużył się uproszczonym sposobem określania naprężenia na poziomie głowicy i podstawy pala, przyjmując założenie upraszczające o tym, że pionowa zmiana siły normalnej w trzonie pala może być przybliżona funkcją kwadratową, tak jak to wynikało z pierwszej części pracy (rys. 47, rys. 49 rys. 51, rys. 53, rys 55, rys. 57). Przyjęcie pionowej zmiany siły osiowej w trzonie pala pozwala na opis przypadków szczególnych, kiedy mobilizacja oporu poboczniczy obejmuje jedynie część długości pala. Przypadek ten opisano w punkcie 6.2 niniejszej pracy.

Przeprowadzone badania wskazują, iż najbardziej typowy przypadek współpracy pała z gruntem obejmuje sytuacje, w których naprężenie w podstawie, wynikające ze współpracy pała z gruntem, zmienia się (zmniejsza się) w kierunku pionowym, przyjmując określoną wartość na rzędnej poziomym terenu. Określenie mobilizacji pobocznic pała wraz ze zmianą długości pała obejmuje zatem obliczenie:

1. Oporu podstawy pała;
2. Oporu pobocznic z różnicy siła w głowicy – opór podstawy.

Stosownie do tych dwóch wartości oraz warunków gruntowych z krzywej M-K obliczamy parametry:  $N_2$ ,  $C_2$ ,  $\kappa_2$ . Pozwala to na określenie naprężenia reprezentującego opór pobocznic w postaci linii prostej i pionową zmianę siły w trzonie pała w postaci funkcji kwadratowej. Jeżeli jedna z wartości  $\tau_1$   $\tau_2$  jest równa 0 na długości pobocznic, oznacza to, że mamy przypadek szczególny, który najczęściej wynika z faktu, że przekroczone zostały naprężenia oporu pobocznic i okazały się większe niż opór tarcia na ścinanie. Wtedy zmiany naprężenia wraz z osiadaniem zależą jedynie od rozkładu oporów pozostałej części pobocznic. Przypadki takie omówiono w następnym rozdziale jako rozwinięcie tezy o wpływie długości pała na mobilizację naprężenia na pobocznic.

Została podjęta próba uproszczenia metody elementarnej, która w swej klasycznej postaci nie mogłaby być szybko przeprowadzona przy użyciu prostych instrumentów w warunkach budowlanych.

Ze względu na fakt, że wszystkie obliczenia pozwalały otrzymać rozkład normalny najmniejszych sum kwadratów odchylek, zdecydowano się na zastosowanie aproksymacji kwadratowej w celu wyznaczenia związku między rozkładem siły w trzonie pała  $N(z)$ , a głębokością  $z$ . Przeprowadzone w ten sposób analizy pozwoliły wyznaczać przebieg rozkładu siły dużo szybciej z dostateczną do celów inżynierskich dokładnością, co zaprezentowano na wykresach rys. 71 – rys. 78. Pokazano, że dzięki prostej metodzie można dokonywać potrzebnych analiz i weryfikacji na podstawie najprostszego zestawu pochodzącego z badań terenowych, jakimi są wartości siły wzdłuż trzonu pała oraz odpowiadające im głębokości.

Obliczenia za pomocą metody analitycznej regresji zostały potwierdzone na podstawie wcześniej otrzymanych wyników. Rozkład składowej naprężenia  $\tau_2$  rozpoczynał się od osiągnięcia wartości  $N_2 \leq \sim 900 \text{ kN}$ . Zweryfikowano stanowisko względem pała nr 6.

Widoczne było, że po przyłożeniu obciążenia w głowicy naprężenia są mobilizowane od podstawy pała i prowadzą do zwiększania wartości  $\tau_1$  oraz wzdłuż

długości pala, ku jego górze, by po osiągnięciu odpowiedniej wartości siły  $N_2$ , pobocznica zaczęła pracować na całej swojej długości.

Różnorodność mechanizmów pracy pala pokazanych w pracy wskazały na potrzebę indywidualnego podejścia do każdego przypadku pala. Jednocześnie żaden pal nie uniemożliwił przeprowadzenia analiz zaprezentowaną metodą. Prawidłowa interpretacja otrzymanych wyników pozwala dopasować metodę do analizowanego przykładu bez potrzeby rozbudowywania aparatu obliczeniowego na tyle, aby uniemożliwił on inżynierom skuteczną i szybką analizę. Potrzebne jest badanie dużo większej liczby przypadków, aby zweryfikować jeszcze rzetelniej uniwersalność przedstawionej metody, co stanowi intencję Autora w przyszłych, prowadzonych przez niego badaniach naukowych.



## 7. Określenie wpływu długości pała na mobilizację oporu poboczniczy

Na podstawie badań przedstawionych w poprzednich rozdziałach sformułowano ogólne zasady pionowej dystrybucji oporu poboczniczy. Wnioski z tych badań można przedstawić następująco:

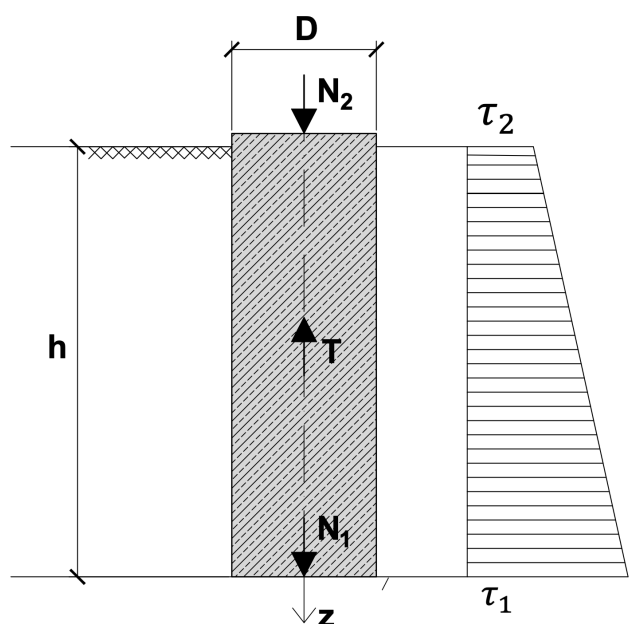
Przebieg oporu poboczniczy  $\tau(z)$  ma charakter liniowy do praktycznych celów obliczeń inżynierskich.

Do opisu zmian tego naprężenia wygodnie jest przyjąć jako parametry:

$\tau_1$  – opór poboczniczy w poziomie podstawy pała,

$\tau_2$  – opór poboczniczy w poziomie głowicy pała.

Schematycznie przedstawiono tę zasadę na rys. 81:



Rys. 81 Schematyczny rozkład liniowy naprężeń wzdłuż poboczniczy pała [opracowanie Autora]

$$\tau(z) = \tau_2 - (\tau_2 - \tau_1) \cdot \frac{z}{h} \quad (95)$$

$$T = N_2 - N_1 \quad (96)$$

$$T = \frac{\tau_2 + \tau_1}{2} \pi D h \quad (97)$$

oraz dodatkowo opisano zależność przez zastosowanie krzywej M-K

$$T = N_2 - N_1 = N_2 \cdot \left[ 1 - \frac{1}{(1 + \kappa_2)^2} \right] = N_2 \cdot \frac{\kappa_2(2 + \kappa_2)}{(1 + \kappa_2)^2} \quad (98)$$

oraz na podstawie wzoru Kirchhoffa:

$$\tau_2 = \frac{E t_2 \cdot s}{7,5 \cdot D} \quad (99)$$

gdzie z poprzednich badań do praktycznych obliczeń inżynierskich można przyjąć:

$$E_{t2} = 4q_{c2} \quad (100)$$

$$s = C_2 \cdot N_2 \quad (101)$$

$$\tau_2 = \frac{4q_{c2} \cdot C_2 \cdot N_2}{7,5 \cdot D} \quad (102)$$

$$\tau_1 = \frac{2N_2}{\pi Dh} \cdot \frac{\kappa_2(2+\kappa_2)}{(1+\kappa_2)^2} - \tau_2 \quad (103)$$

Ostatecznie zależność, która określa naprężenie  $\tau_1$  – opór poboczniczy w poziomie podstawy przyjmuje postać:

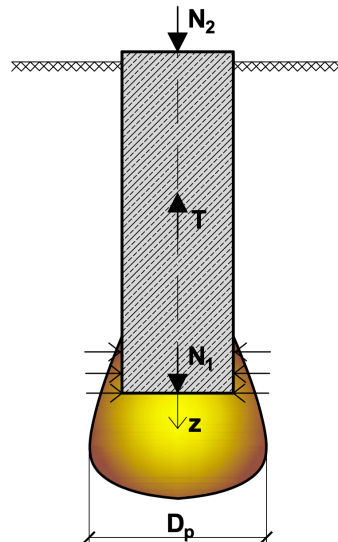
$$\tau_1 = \frac{2N_2}{\pi Dh} \cdot \frac{\kappa_2(2+\kappa_2)}{(1+\kappa_2)^2} - \frac{4q_{c2} \cdot C_2 \cdot N_2}{7,5 \cdot D} \quad (104)$$

Jest to równanie podstawowe obliczono  $\tau_1$ , oraz na uzyskanie pionowego rozkładu oporu na poboczniczy pala. Równanie to potwierdza wyniki uzyskane w badaniach eksperymentalnych o liniowej zależności  $\tau_1(z)$  oraz  $\tau_2(z)$  od  $N_2$ . Obliczenia można przeprowadzić, jeżeli znamy wyniki próbnych obciążeń statycznych pala, a na tej podstawie przy wykorzystaniu statystyki matematycznej ustalamy parametry krzywej M–K:  $C_2$ ,  $N_{gr2}$ ,  $\kappa_2$ . Mając na względzie praktyczne wykorzystanie wyników prowadzonych badań, podjęto w tej pracy próbę określenia  $\tau_1$  na podstawie ogólnych zasad mechaniki gruntów. Wyniki badań eksperymentalnych wskazują, że wartości otrzymane  $\tau_1$  wykazują bardzo dobrą zgodność z zasadą, którą opisano wcześniej [49, 56, 69, 79], która wynika z tego, że w trakcie próbnych obciążeń statycznych pod podstawą pala powstaje obszar gruntu uplastycznionego, który kształtem przypomina „gruszkę” o średnicy przekraczającej znacznie średnicę pala, schemat gruszki przedstawiono na rys. 82. Zgodnie z wymienioną zasadą mamy:

$$D_p = D \cdot (1 + \kappa_2) \quad (105)$$

$$\sigma_1 = \frac{4 \cdot N_2}{\pi D_p^2} \quad (106)$$

$$\tau_1 = \frac{1}{2} \sigma_1 \cdot f \quad (107)$$



Rys. 82 Strefa uplastycznionego gruntu w formie „gruszki” w okolicy podstawy pala [opracowanie Autora]

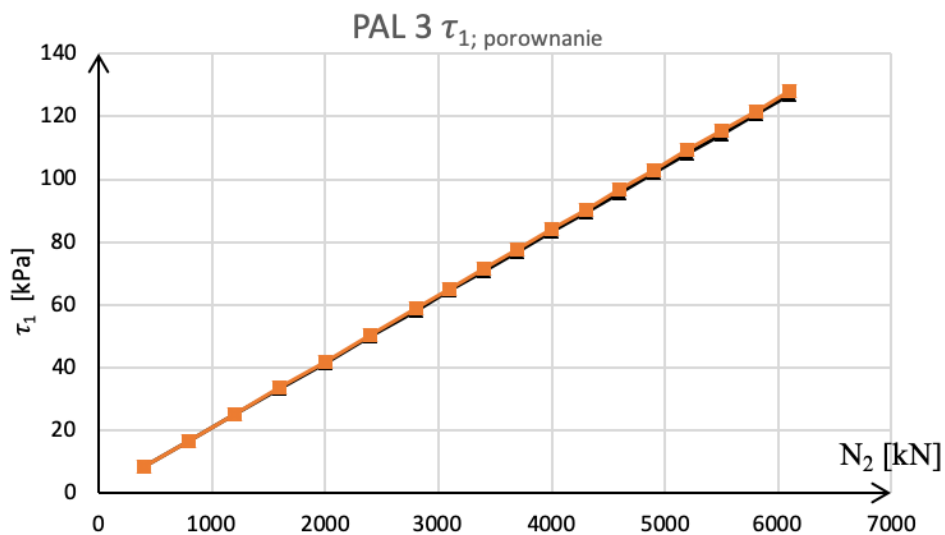
Współczynnik  $\frac{1}{2}$  w wzorze na  $\tau_1$  wynika z faktu, iż obszar gruntu uplastycznionego przewęża się ku górze. Naprężenia  $\tau_1$  są rezultatem przemieszczania się gruntu po powierzchni betonu (poślizgu). Ostatecznie mamy zależność:

$$\tau_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{N_2 \cdot f}{\pi D^2 \cdot (1 + \kappa_2)^2} \quad (108)$$

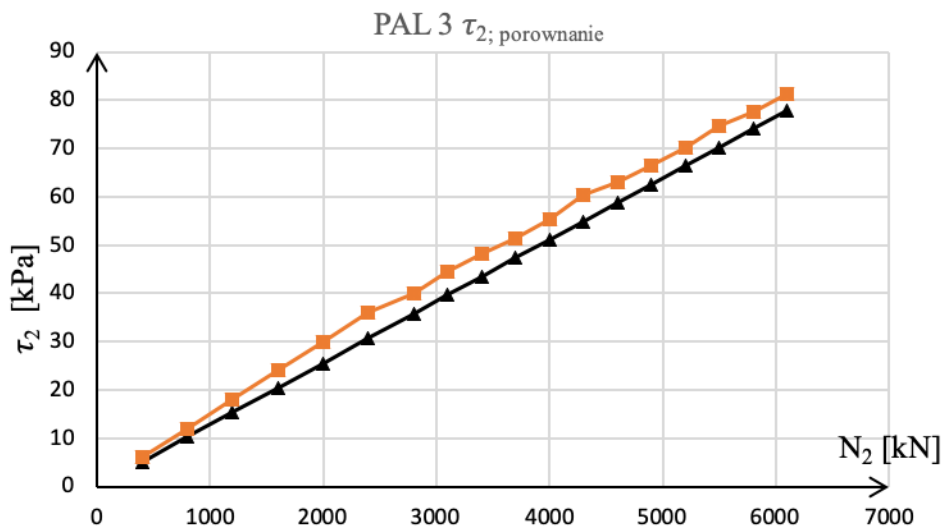
Natomiast naprężenie na poziomie głowicy pala (powierzchni terenu) opisujemy tak jak wcześniej:

$$\tau_2 = \frac{4q_{cz} \cdot c_2 \cdot N_2}{7,5 \cdot D} \quad (109)$$

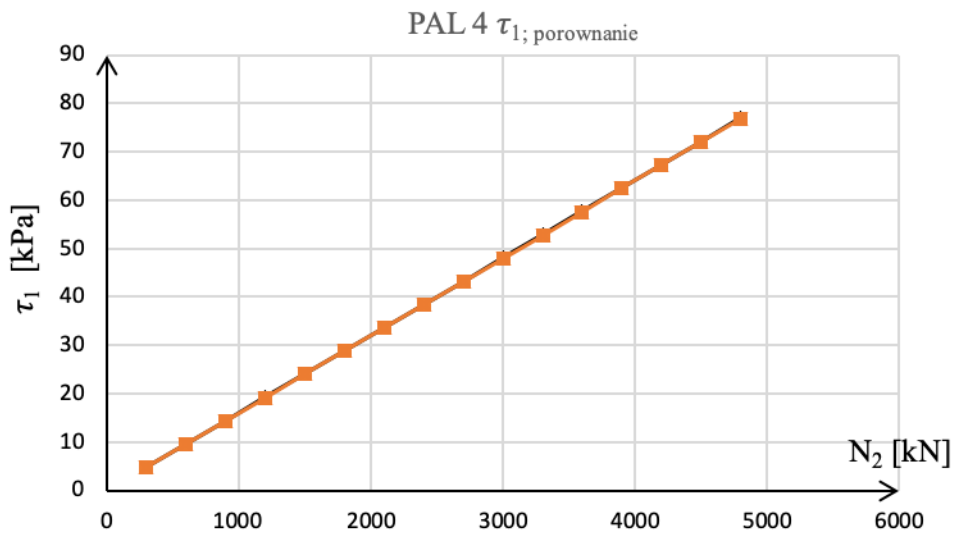
Przy znajomości wyników danych uzyskanych podczas badań terenowych możliwe jest przeprowadzanie aproksymacji krzywej obciążenie-osiadanie wg metody M-K oraz uzyskanie wartości potrzebnych współczynników. Przeprowadzono takie analizy porównawcze do pali 3, 4, 5 przedstawionych w pracy i przedstawiono na rys. 83-88.



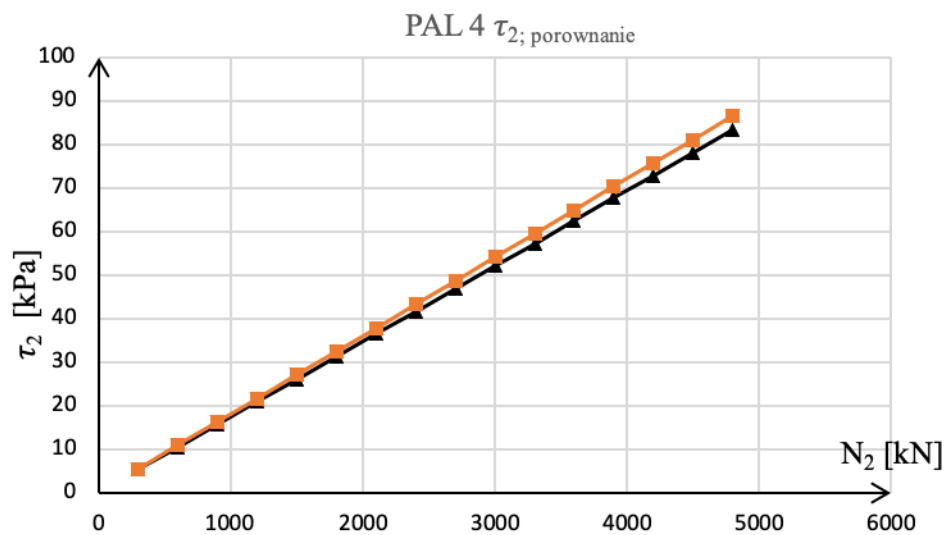
Rys. 83 Porównanie wartości rozkładu liniowego  $\tau_1$  z rozdziału 6.3 i otrzymanego wzorem (108) do pala 3 [opracowanie Autora]



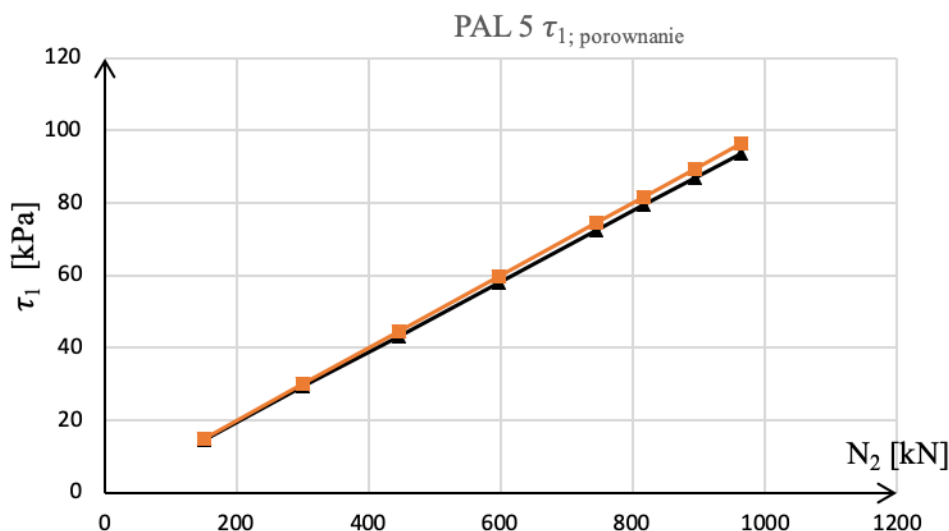
Rys. 84 Porównanie wartości rozkładu liniowego  $\tau_2$  z rozdziału 6.3 i otrzymanego wzorem (109) do pala 3 [opracowanie Autora]



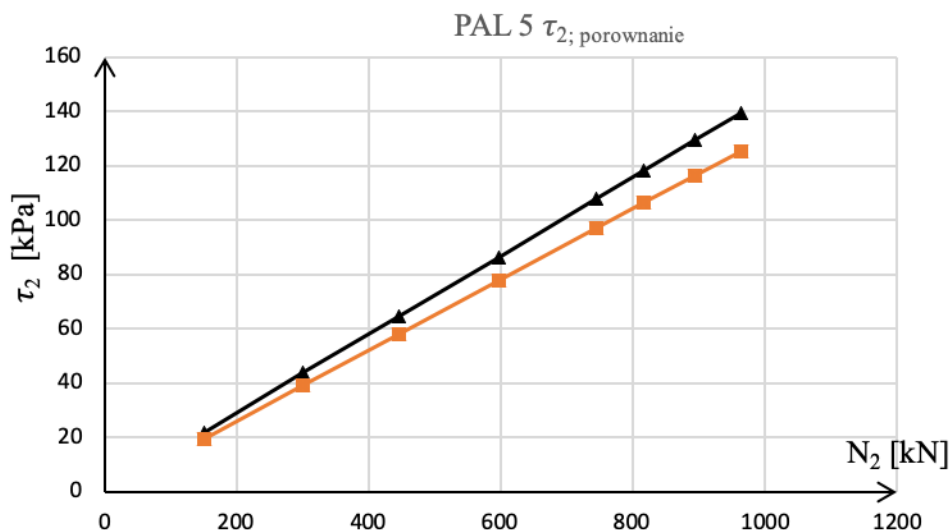
Rys. 85 Porównanie wartości rozkładu liniowego  $\tau_1$  z rozdziału 6.3 i otrzymanego wzorem (108) do pala 4 [opracowanie Autora]



Rys. 86 Porównanie wartości rozkładu liniowego  $\tau_2$  z rozdziału 6.3 i otrzymanego wzorem (109) do pala 4 [opracowanie Autora]



Rys. 87 Porównanie wartości rozkładu liniowego  $\tau_1$  z rozdziału 6.3 i otrzymanego wzorem (108) do pala 5 [opracowanie Autora]



Rys. 88 Porównanie wartości rozkładu liniowego  $\tau_2$  z rozdziału 6.3 i otrzymanego wzorem (109) do pala 5 [opracowanie Autora]

W warunkach, kiedy opór pobocznicy obejmuje całą wysokość powierzchni bocznej pala równanie zamykające ma postać:

$$T = N_2 \cdot \frac{\kappa_2(2+\kappa_2)}{(1+\kappa_2)^2} = \frac{\pi Dh}{2} \cdot \left[ \frac{1}{2} \cdot \frac{N_2 \cdot f}{\pi D^2 \cdot (1+\kappa_2)^2} + \frac{4q_{c2} \cdot C_2 \cdot N_2}{7,5 \cdot D} \right] \quad (110)$$

Niezależnie od warunków formowania się oporu pobocznicy w poziomie podstawy pala przedstawioną interpretację można wykorzystać do określenia dodatkowych związków pomiędzy parametrami geotechnicznymi gruntu w poziomie podstawy oraz parametrami krzywej M-K. W szczególności do ustalenia związku opisującego stałą  $C_2$ .

Znając parametry krzywej M-K możemy teraz obliczyć składowe oporu pobocznic  $\tau_1$  oraz  $\tau_2$ , a ponadto możemy zweryfikować pozostałe wielkości fizyczne:  $f$  – współczynnik tarcia i opór sondy statycznej  $q_{c2}$ .

Na podstawie przedstawionych wzorów można też zweryfikować parametr  $C_2$ , który wcześniej obliczono metodami statystyki matematycznej. Na podstawie badań Meyer [48] możemy napisać zależność opisującą osiadanie podstawy pała:

$$S = \frac{4 \cdot N_2}{E_p \cdot \pi D_p} \cdot \frac{z_*}{z_* + D_p} \quad (111)$$

gdzie:

$$z_* = \frac{1}{2 \tan \phi} \cdot \frac{1}{\ln \frac{E_p}{\sigma_1}} \cdot \frac{\sigma_1}{\gamma} \quad (112)$$

ponieważ:

$$D_p = D + (1 + \kappa_2) \quad (113)$$

stąd:

$$S = \frac{4 \cdot N_2}{\pi \cdot D_p \cdot E_p} \cdot \frac{1}{1 + 2 \tan \phi \cdot \ln \left( \frac{E_p}{\sigma_1} \right) \cdot \frac{\gamma \cdot D_p}{\sigma_1}} \quad (114)$$

gdzie:

$$E_p = 4q_b \cdot \alpha(q_b) \quad (115)$$

$$\alpha(q_b) = 1 + \frac{1}{4} q_b^{\frac{1}{3}} \quad (116)$$

stąd ostatecznie:

$$C_2 = \frac{\beta}{\pi D \cdot (1 + \kappa_2) \cdot q_b \cdot \alpha(q_b)} \quad (117)$$

gdzie:

$$\beta = \frac{1}{1 + 2 \tan \phi \cdot \ln \left( \frac{E_p}{\sigma_1} \right) \cdot \frac{\gamma \cdot D_p}{\sigma_1}} \quad (118)$$

Poniżej przedstawiono praktyczne zastosowanie przedstawionej metody do obliczenia stałej  $C_2$  pojedynczego pała.

Praktyczne obliczenia z badań eksperymentalnych wskazują, że  $\beta = 0,10 - 0,40$ .

Obliczenia prowadzimy w taki sposób, że do każdego kolejnego obciążenia  $N_2$  obliczamy

$D_p = D \cdot (1 + \kappa_2)$  oraz  $\sigma_1 = \frac{4 \cdot N_2}{\pi D_p^2}$ . Z badań prowadzonych za pomocą sondy statycznej

mamy  $q_c(z)$ , stąd  $q_b = q_c(h)$ , w poziomie posadowienia, a zatem również znamy  $\alpha(q_b)$ ,

$E_p$  oraz kąt tarcia wewnętrznego gruntu pod podstawą  $\phi$ . Ostatecznie znajdujemy  $\beta$ .

Przykład obliczeniowy:

$$N_2 = 400 \text{ kN}; q_b = 8 \text{ MPa}; D = 0,5 \text{ m}; \kappa_2 = 0,7; \gamma = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}; \phi = 30^\circ$$

$$E_p = 4 \cdot 8 \cdot \left(1 + \frac{1}{4} \cdot 8^{\frac{1}{3}}\right) = 48 \text{ MPa} \quad (119)$$

$$\sigma_1 = \frac{400 \cdot 4}{\pi \cdot 0,5^2 \cdot (1+0,7)^2} = 704,9 \text{ kPa} \quad (120)$$

$$D_p = 0,5 \cdot 1,7 = 0,85 \text{ m} \quad (121)$$

Następnie

$$z_* = \frac{1}{2 \cdot \tan 30^\circ} \cdot \frac{1}{\ln \frac{48}{0,7049}} \cdot \frac{704,9}{20} = 7,23 \text{ m} \quad (122)$$

$$\beta = \frac{1}{1 + 2 \tan 30^\circ \ln \left(\frac{48}{0,7049}\right) \cdot \frac{20 \cdot 0,85}{704,9}} = 0,89 \quad (123)$$

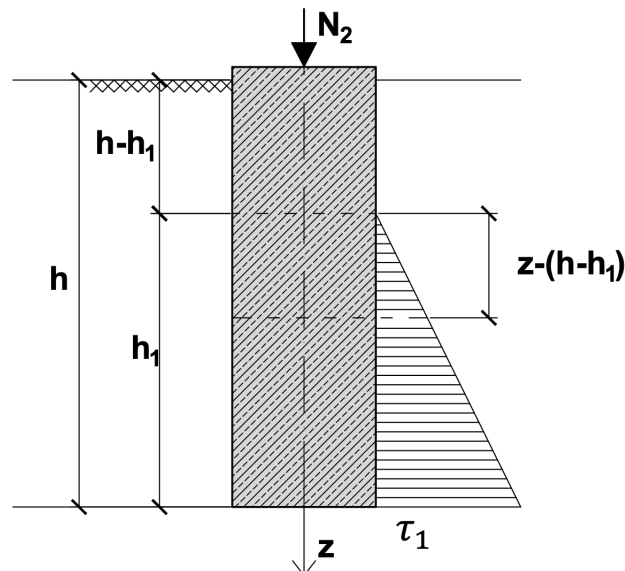
$$C_2 = \frac{0,89}{\pi D \cdot (1 + \kappa_2) \cdot q_b \cdot 1,5} = \frac{0,6}{\pi D \cdot (1 + \kappa_2) \cdot q_b} = 0,028 \left[\frac{\text{m}}{\text{MN}}\right] \quad (124)$$

Zależność tę możemy teraz podstawić do wzoru na T:

$$\frac{1}{4} \cdot \frac{h}{D} \cdot \frac{f}{(1 + \kappa_2)^2} + \frac{2 \cdot q_c \cdot h}{7,5D} \cdot \frac{0,6}{(1 + \kappa_2) \cdot q_b} = \frac{\kappa_2(2 + \kappa_2)}{(1 + \kappa_2)^2} \quad (125)$$

Jest to dodatkowo równanie, które pozwala na zweryfikowanie wielkości fizycznych  $q_{c2}$  oraz  $q_b$ .

Podstawowe znaczenie w tworzeniu wykresu  $\tau(z)$  ma przypadek, kiedy opór poboczniczy nie sięga do głowicy pała (zanika niżej), co pokazano na rys. 89.



Rys. 89 Formowanie się naprężenia poboczniczy pała na części długości pała [opracowanie Autora]



Prawdziwy jest następujący związek:

$$h_1 < h \quad (126)$$

Wówczas równania mają postać:

$$\sigma_1 = \frac{4N_2}{\pi D^2 \cdot (1 + \kappa_2)^2} \quad (127)$$

$$\tau_1 = \frac{1}{2} \sigma_1 \cdot f \quad (128)$$

$$T = \frac{1}{2} \tau_1 \cdot \pi D h_1 \quad (129)$$

Stąd

$$\frac{h_1}{D} = \frac{\kappa_2(2 + \kappa_2)}{f} \quad (130)$$

Przypadek przedstawiony powyżej sugeruje, że opór pobocznicy powyżej pewnej wysokości już nie występuje. W literaturze można znaleźć informacje o stwierdzonym braku naprężenia na pewnej wysokości pala [8]. Przedstawione tu analizy należy przyjąć jako interpretację mechanizmu mobilizacji oporu pobocznicy, która może doprowadzić do powstawania takiej strefy. Dokładny przebieg tego procesu wymaga badań, które Autor planuje przeprowadzić w przyszłości. Przy analizie tego rodzaju problemu Autor stwierdza, że zjawisko mobilizacji oporu pobocznicy pala może być interpretowane na podstawie badań przedstawionych w rozprawie. Podstawowy warunek jednak to założenie, że w obliczeniach do praktycznych celów inżynierskich można przyjąć mechanizm mobilizacji, który prowadzi do liniowego rozkładu naprężenia. Rozkłady potwierdzono w trakcie badań eksperymentalnych w modelach w skali naturalnej.

Przeprowadzone badania eksperymentalne potwierdziły również liniową zależność pomiędzy oporem  $\tau_2$  w poziomie głowicy pala oraz  $\tau_1$  w podstawie pala, a obciążeniem w głowicy  $N_2$ . Badania te w ten sposób potwierdziły mechanizm formowania się naprężenia w poziomie głowicy pala:

- zgodnie z prawem Kirchhoffa,
- w podstawie pala poprzez powstawanie obszaru gruntu uplastycznionego, który obejmuje podstawę pala; ma średnicę większą niż średnica pala,
- do analizy wykorzystano również wyniki wcześniejszych badań Autorów nad krzywą M-K [51, 57, 58, 59, 69, 71, 79].

Te podstawowe zasady potwierdzono w badaniach eksperymentalnych i pozwoliły one na sformułowanie wniosku dotyczącego mechanizmu mobilizacji oporu pobocznicy pala zachodzącego wraz ze zmianą jego długości, również na skutek skrócenia jego trzonu. W ten sposób została udowodniona teza pracy.

W rozdziale tym przedstawiono również praktyczne wykorzystanie zależności, do których dotarł Autor, w szczególności określenie oporu poboczniczy pała przeprowadzone na podstawie próbnych obciążeń statycznych wraz z wykorzystaniem parametrów geotechnicznym gruntu otrzymanych za pomocą pomiaru sondą CPTu. Takie stanowisko pozwala na weryfikację parametrów krzywej M-K otrzymanych dzięki wykorzystaniu statystyki matematycznej.

## 8. Wnioski końcowe

Uzyskane wyniki badań analitycznych i eksperymentalnych potwierdziły tezę, że „skrócenie trzonu pala ma wpływ na mobilizację oporu poboczniczy”.

W pracy przedstawiono wyniki badań analitycznych i eksperymentalnych uzyskane rozkłady w procesie mobilizacji oporów poboczniczy pala w zależności od długości pala i jego obciążenia, z uwzględnieniem skrócenia trzonu. Badania analityczne miały na celu sformułowanie zależności, które pozwolą na określenie pionowego rozkładu oporu poboczniczy w stosunku do przyjętych warunków brzegowych. W porównaniu do innych metod przedstawionych w literaturze, metoda przedstawiona w niniejszej rozprawie zasadza się na założeniu, że naprężenia na poboczniczy, które stanowią opór poboczniczy formowane są zgodnie z prawem Kirchhoffa i prowadzi to do wprowadzenia zagregowanego współczynnika Winklera. W wyniku tych badań Autor wyprowadził wniosek, że dla celów praktycznych obliczeń inżynierskich rozkład oporu poboczniczy pala można przyjąć jako liniowy i na tej podstawie rozwiązywać przypadki ogólne i przypadki szczególne, dla przyjętego warunku, że  $N_2 < \frac{1}{2} N_{gr2}$ . W celu potwierdzenia założeń przyjętych do modelu matematycznego Autor przeprowadził badania eksperymentalne w skali naturalnej, które miały na celu:

- zweryfikowanie uproszczeń przyjętych w modelu matematycznym, które doprowadziły do uzyskania liniowego rozkładu tego oporu oraz do weryfikacji rozkładów naprężenia na poboczniczy stosownie do naprężenia w poziomie terenu oraz w poziomie podstawy pala; przeprowadzone badania prowadzą do wniosków ogólnych, z których wynika, że została potwierdzona hipoteza, że z dostateczną do celów praktycznych dokładnością można przyjąć liniowy rozkład oporów poboczniczy,
- przeprowadzone badania eksperymentalne potwierdziły przyjęte w pracy założenie, iż opory poboczniczy pala generowane w trakcie obciążenia, z dostateczną do celów praktycznych dokładnością, spełniają zasady Kirchhoffa – równania, które uzależniają rozkład naprężenia od parametrów mechanicznych gruntu oraz ugięcia przestrzeni gruntowej wokół pala; potwierdzono również na drodze analitycznej zależności dotyczące liniowego charakteru naprężenia, reprezentujące naprężenie na poboczniczy w zależności od obciążenia w głowicy pala.

Na podstawie badań analitycznych oraz przeprowadzonych badań eksperymentalnych Autor sformułował ogólny mechanizm formowania się oporu na poboczniczy wraz ze zmianą długości pala. Najistotniejszym elementem tego mechanizmu jest wniosek, który pozwala określić, iż właściwą zgodność składowych naprężenia pomierzonych i obliczonych w podstawie pala otrzymujemy, zakładając powstanie strefy uplastycznionej pod podstawą pala – strefy, która posiada średnicę znacznie większą niż średnica pala [69]. To prowadzi do wniosku, iż w podstawie pala następuje formowanie się naprężenia na poboczniczy poprzez tarcie dynamiczne (poślizg) gruntu po powierzchni pala.

Natomiast w strefie powyżej, formowanie oporu poboczniczy wynika z ugięcia przestrzeni gruntowej i z zasady Kirchhoffa. Wyniki eksperymentalne potwierdziły występowanie obu tych zasad.

Dalsza interpretacja opisanego mechanizmu umożliwia określenie warunków, w których opory poboczniczy obejmują jedynie pewną długość pala – nie sięgają do poziomu terenu.

Zagadnienie to przedstawiono w pracy przy zastosowaniu prezentowanego modelu wskazując, że model ten pozwala na opisanie tego przypadku. Przeprowadzone obliczenia analityczne dotyczące badań eksperymentalnych wskazują, iż możliwym jest, że opór poboczniczy mobilizuje się od podstawy pala, a naprężenia te maleją ku górze i są równe zero na pewnej wysokości. Przypadek taki został potwierdzono badaniami eksperymentalnymi.

Intencją autora było również, aby na podstawie badań eksperymentalnych w skali naturalnej sprawdzić, czy niektóre z parametrów krzywej M-K, którymi opisuje się mobilizację oporu poboczniczy, można określić na podstawie innych badań geotechnicznych np. sondy CPTu. Okazuje się, że w szczególności parametr  $\kappa_2$  do celów praktycznych obliczeń może być ustalany na podstawie badań sondą CPTu. W pracy przedstawiono stosowne wzory. Zależności te sugerują, iż zasadnym jest podjęcie badań, które będą miały na celu sprawdzenie, czy możliwe jest z dostateczną dla celów praktycznych dokładnością, obliczenie krzywej M-K metodami analitycznymi bez potrzeby przeprowadzania kosztownych próbnich statycznych obciążeń.

W pracy przedstawiono również wnioski szczegółowe, które mogą być wykorzystane w obliczeniach inżynierskich i dalszych badaniach. Dotyczą one związków pomiędzy parametrami krzywej M-K, a parametrami modelu opisującego mobilizację

oporu pobocznicy pala. Te dodatkowe zależności pozwalają na weryfikację testu statycznego o badania za pomocą np. sondy CPTu.

Wnioski szczegółowe to wnioski, w których podano, iż w trakcie obciążania pala mobilizacja oporu pobocznicy nie zawsze obejmuje całą długość pala. W ten sposób rodzi się pytanie czy można zastąpić pal długi, palem krótkim.

Inny wniosek szczegółowy dotyczy faktu, że zwykle przy małych obciążeniach, osiadania pala są niewielkie, zależne od obciążenia w głowicy, ale prowadzą do dużej mobilizacji oporu pobocznicy. Po przekroczeniu pewnego poziomu osiadania rośnie znacząco opór podstawy. W wielu przypadkach wartość osiadania, która wywołuje wystarczający opór podstawy jest trudne do osiągnięcia, ponieważ przekracza osiadania dopuszczalne. Wówczas stan graniczny osiadania przesądza o tym, że nośność pala nie jest wykorzystana.

## 9. Program dalszych badań

Program dalszych badań przewiduje:

Przeprowadzenie badań eksperymentalnych, które pozwolą na analizę formowania się oporu poboczniczy pała do pali wykonanych w różnych technologiach. W pracy przyjęto pale CFA.

Badania te będą miały na celu potwierdzenie mechanizmu mobilizacji oporu poboczniczy, który sformułowano w niniejszej pracy w odniesieniu do pali wykonanych w innej technologii. Powinno to pozwolić na sformułowanie bardziej ogólnych zasad doboru i projektowania pała tak aby wykorzystać dopuszczalne osiadania z zachowaniem odpowiedniego współczynnika bezpieczeństwa w odniesieniu do sił na głowicy pała.

Badania mające na celu określenie wartości współczynnika  $f$  z wzoru (108) oraz powiązanie wartości  $f$  z współczynnikami metody M-K, a w szczególności współczynnika  $\kappa_2$  jako opisu rozkładu obciążenia między poboczną i podstawą pała, co pozwoli zidentyfikować sposób współpracy pała z gruntem.

W dalszej części Autor widzi potrzebę wykonania badań nie tylko do pali, ale również do kolumn, które mają gorsze własności mechaniczne, lecz są często stosowane.

## Bibliografia:

1. Augustesen A. (2006); The effects of time on soil behavior and pile capacity; Rozprawa doktorska, Aalborg University
2. Biernatowski K. (1984); Fundamentowanie; Państwowe Wydawnictwo Naukowe; Warszawa
3. Briaud J. L. (2013); Geotechnical Engineering, Unsaturated and Saturated Soils; Wiley
4. Brinch Hansen J. (1970); A revised and extended formula for bearing capacity; Danish Geotechnical Institute, Bull, Copenhagen
5. Bzówka J. (2009); Współpraca kolumn wykonywanych techniką iniekcji strumieniowej z podłożem gruntowym; Wydawnictwo Politechniki Śląskiej; Gliwice – wstawić do przeglądu
6. Coyle H. M.; Reese (1966); Load transfer for axially loaded piles in clay; J. Soil Mech. And Foundations Div.; ASCE 92(2), str. 1-26
7. Chin F. K. (1970); Estimation of ultimate load of piles not carried to failure; Proceedings 2<sup>nd</sup> Southeast Asia Conference on Soil Engineering; str. 81-92;
8. De Cock F., Legrand C. (1997); Design of Axially Loaded Piles, European Practice; Rotterdam
9. Decourt L. (1999); Behavior of foundations under working load conditions; Proceedings of the 11<sup>th</sup>. Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol.4, pp. 453-488; Foz DoIguassu, Brazil
10. Dinninliff J. (1982); Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance; Washington
11. Fellenius B. H. (2006); Basics of Foundation Design; Electronic Edition
12. Fellenius B. H. (2017); Best practice for performing static loading tests. Examples of test results with relevance to design; 3<sup>rd</sup> Bolivian International Conference on Deep Foundations, Santa Cruz de la Sierra, Vol. 1, str. 63-73; Boliwia
13. Fellenius B. H. (2002); Determining the True Distributions of Load in Instrumented Piles; International Deep Foundation Congress “Down to Earth Technology; Orlando, Florida
14. Fellenius B. H. (2018); Development of axial pile load transfer curves based on instrumented load tests; ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 44(2);
15. Fellenius B. H. (2013); Discussion of “A simplified nonlinear approach for single pile settlement analysis”; Canadian Geotechnical Journal, 50(6), str. 685-687;
16. Fellenius B.H. (2001); From Strain Measurements to Load in an Instrumented Pile; Geotechnical News Magazine Vol. 19, No.1 , str. 35-38;
17. Fellenius B. H., Rahman M. M. (2019); Load-movement response by t-z and q-z functions; Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA Journal 50(3), str. 11-19;
18. Fellenius B. H., Kim S. R., Chung S. G. (2009); Long-term monitoring of strain in instrumented piles; ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, str. 1583-1595;
19. Fellenius B. H. (2006); Results from long-term measurement in in piles of drag load and downdrag; Canadian Geotechnical Journal Vol. 43, No.4, str. 403-430;
20. Fellenius B. H., Terceros H. M., Terceros A. M., Massarsch K. R., Mandolini A. (2019); Static response of a group of 13 piles tested simultaneously; 4<sup>th</sup> Bolivian International Conference on Deep Foundations, Santa Cruz de la Sierra; Boliwia
21. Fellenius B. H. (1975); Test loading of piles and new proof testing procedure; Journal of the Geotechnical Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 101, No. GT9, str. 16-30;
22. Fellenius B. H. (2001); What value to choose from the results of static load test; Deep Foundation Institute, str. 19-22;
23. Fleming W. G. K. (1992); A new method for single pile settlement prediction and analysis; Geotechnique 42, No. 3, str. 411-425;
24. Gwizdała K. (1996); Analiza osiadań pali przy wykorzystaniu funkcji transformacyjnych; Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, Nr 532, Budownictwo Wodne Nr 41, Gdańsk
25. Gwizdała K. (2004); Kontrola nośności pali i jakości robót palowych; Geoinżynieria i tunelowanie; 01/2004 – normy przeprowadzania badań i kontrola
26. Gwizdała K. (2010); Fundamenty palowe Tom 1: Technologie i obliczenia, Wydawnictwo Naukowe PWN; Warszawa
27. Gwizdała K. (2013); Fundamenty palowe Tom 2: Badania i zastosowania, Wydawnictwo Naukowe PWN; Warszawa
28. Gwizdała K., Brzozowski T. (2008); Badania dynamiczne nośności pali; Górnictwo i Geoinżynieria; str. 139-149

29. Gwizdała K., Krasiński A. (2016); Fundamenty palowe, obliczenia z zastosowaniem zasad Eurokodu 7 i doświadczeń krajowych; *Acta Sci. Pol. Architectura* 15(2) 2016; str. 3-22
30. Gwizdała K., Stęczniewski M.; (2015) Wykorzystanie funkcji transformacyjnych do analizy nośności i osiadań pali CFA; *Inżynieria Morska i Geotechnika*, nr 3/2015, str. 433-437
31. Gwizdała K., Stęczniewski M., Dyka I. (2009); Wykorzystanie sondowań statycznych do obliczania nośności i osiadań pali; *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, str. 62-69;
32. Hanifah A. A., Kai Sieng L. (2006); APPLICATION OF GLOBAL STRAIN EXTENSOMETER (GLOSTREXT) METHOD FOR INSTRUMENTED BORED PILES IN MALAYSIA; 10<sup>th</sup> International Conference on Piling and Deep Foundations, 31<sup>st</sup> May – 2<sup>nd</sup> June 06, Amsterdam.
33. Hirayama H. (1990); Load-settlement analysis for bored piles using hyperbolic transfer functions; *Soils and foundations*, Vol. 30, No. 1; Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering; str. 55-64
34. Holeyman A. E. (1992); Keynote Lecture: Technology of Pile Dynamic Testing; Application of Stress-Wave Theory to Piles; str. 195-215; Rotterdam
35. Holeyman A. E. (1997); Pile dynamic testing, driving formulae, monitoring and quality control: Background for discussion; *Design of Axially Loaded Piles – European Practice*; str. 47-53; Rotterdam;
36. Karimpour-Fard M., Eslami A. (2013); Estimation of vertical bearing capacity of piles using the results CPT and SPT tests; *Geotechnical and Geophysical Site Characterization*; Taylor & Francis Group, London, str. 1055-1062;
37. Kioussis D. Elansary S. (1987); Load settlement relation for axially loaded piles; *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 113, issue 6
38. Koda E.; Bajda M. (2013); Badania geotechniczne do oceny warunków posadowienia w strefach przykrawędziowych Skarpy Warszawskiej; *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* nr 60, str. 126-136
39. Knappett J. A., Craig R. F. (2013); *Craig's soil mechanics*, eighth edition; Spon Press; Nowy Jork;
40. Krasiński A. Kusio T. (2015); Pile model tests using strain gauge technology; *Studia Geotechnica Et Mechanica*, Vol. 37, No. 3;
41. Krasiński A. (2018); Prognozowanie krzywej osiadania pala wierconego z iniekcją ciśnieniową pod podstawą; *Acta Sci. Pol. Architecture* 17(2), str. 65-76;
42. Krasiński A., Wiszniewski M.; (2017); Static load test on instrumented pile – field data and numerical simulation; *Studia Geotechnica et Mechanica*, Vol. 39, No. 3
43. Lee J. H., Salgado R. (1999); Determination of pile base resistance in sands; *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* str. 673-683;
44. Mayne P. W., Niazi F. S. (2013); Cone Penetration Test Based Direct Methods for Evaluating Static Axial Capacity of Single Piles: A State-of-the-Art Review; *Geotechnical and Geological Engineering* volume 31, str. 979–1009;
45. Mazurkiewicz B. (1968); Skin friction on model piles in sand. *Tarcie pali modelowych w piasku*; *The Danish geotechnical Institute Bulletin* nr 25; s. 13-48
46. Mazurkiewicz B. (1966); Sprawdzanie dopuszczalnej nośności pali w terenie. Cz. 2; *Inżynieria i budownictwo* nr 6; s.214-218
47. Meyer Z. (2010); Analiza naprężeń na pobocznicy pala oraz pod podstawą pojedynczego pala w oparciu o liniową teorię Bousinesq; XVIII Seminarium Naukowe, Regionalne Problemy Inżynierii Środowiska; Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin
48. Meyer Z. (2012); Obliczenia Inżynierskie osiadania fundamentów; *Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Handlowe ZAPOL Dmochowski*; Szczecin
49. Meyer Z. (2015); Wykorzystanie wyników testu statycznego pala do określania mobilizacji oporu pobocznicy; *Regionalne problemy inżynierii środowiska*; Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny;
50. Meyer Z. (2017); Wykorzystanie testu statycznego pala do prognozy osiadania, mobilizacji podstawy i pobocznicy; XXXII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji 7-10 Marca
51. Meyer Z. Kowalów M. (2010); Model krzywej aproksymującej wyniki testów statycznych pali; *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 3/2010
52. Meyer Z., Kowalów M. (2009); Wykorzystanie testu Osterberga do statycznych obciążeń próbnych pali; *Awarie Budowlane*, str. 26-29; Szczecin-Międzyzdroje 2009



53. Meyer Z., Szmeczel G. (2010); Analiza możliwości analitycznej aproksymacji krzywej obciążenie-osiadania dla testów statycznych pali żelbetowych w gruntach sypkich; *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 4/2010
54. Meyer Z., Szmeczel G. (2012); Praktyczne określenie związków pomiędzy parametrami krzywej obciążenie osiadanie w statycznym teście pala; *XX Regionalne Problemy Inżynierii Środowiska*; Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin 2012
55. Meyer Z., Szmeczel G. (2015); Problemy zasad wymiarowania pali; *Inżynieria Morska i Geotechnika*, str. 444-449, 3/2015
56. Meyer Z., Żarkiewicz K. (2015); Analiza mobilizacji oporu poboczniczy i podstawy pala na podstawie interpretacji badań modelowych; *Inżynieria Morska i Geotechnika*, str. 350-354, 3/2015
57. Meyer Z., Żarkiewicz K. (2016); Optymalizacja równania nośności pala na podstawie laboratoryjnych badań modelowych; *XXIII Seminarium Naukowe z cyklu Regionalne Problemy Inżynierii Środowiska* str. 79-90; Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie; Szczecin
58. Meyer Z., Stachecki K. (2018); Static load test curve (Q–s) conversion in to pile of different size; *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Land Reclamation* No 50 (2): 171–182
59. Meyer Z., Wasiluk A. (2018); Analiza możliwości uwzględnienia niedokładności pomiarów badania statycznego pala z wykorzystaniem modeli analitycznych; *Inżynieria Morska i Geotechnika*; 5/2018
60. Meyer Z., Wasiluk A. (2019); Weryfikacja krzywej Meyera-Kowalowa w oparciu o wyniki eksperymentalne oraz kolejny etap analizy niedokładności pomiarów testu statycznego pala; *Inżynieria Morska i Geotechnika* nr 6/2019; str. 315-324
61. Meyerhof G. G. (1974); Ultimate bearing capacity of Footings on Sand Layer Overlying Clay; *Can. Geotech. J.*, Vol. II, No. 2; str. 223-229
62. Meyerhof G. G. (1976); Bearing capacity and settlement of pile foundation; *The XI Terzaghi Lecture, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol. 102, No GT3; str. 195-228
63. Paniagua W. I. (2018); Drilled shaft construction – selecting the appropriate equipment and tooling; *Deep foundations 03-04.2018*; str. 69-72 ;2018
64. Poulos H. G., Davis E. H. (1980); *Pile Foundation Analysis and Design*; Canada
65. Poulos H. G. (1993); Settlement prediction for bored piles groups; *Proceeding of the 2<sup>nd</sup> International Geotechnical Seminar on Deep Foundation on Bored and Auger Piles*; s. 103-117; Ghent, Belgium
66. Randolph M. F., Wroth C. P. (1978); Analysis of Deformation of Vertically Loaded Piles; *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol. 104, No GT12
67. Rippel R. (2007); Instrumentalizacja próbnych obciążeń statycznych pali fundamentowych; *Geoinżynieria drogi mosty tunele* 04/2007, str. 56-58
68. Salgado R., Junhwan L. (1999); *Pile Design Based on Cone Penetration Test Results*; Indiana Department of Transportation; October 1999
69. Siemaszko P., Meyer Z. (2019); Static load test curve analysis based on soil field investigations; *Bulletin of the Polish Academy of Sciences*, Vol. 67, No. 2 str. 329-337;
70. Stępczniewski M. (2003); *Ocena nośności pali na podstawie badań sondą CPT (praca doktorska)*; Gdańsk
71. Szmeczel G. (2014); *Określenie nośności granicznej pali na podstawie próbnych obciążeń statycznych w ograniczonym zakresie*; Rozprawa doktorska; Szczecin 2014
72. Tara D., Coulter S. (2015); Interpretation of static pile loading test results and application for design of pile groups;
73. Tarnawski M., Ura M. (2012); Porównanie wyników sondowań statycznych CPT i dynamicznych DPSH w gruntach niespoistych; *Inżynieria Morska i Geotechnika*, nr 1/2012; str. 38-42
74. Terzaghi K., Peck R. B. (1967); *Soil Mechanics in Engineering Practice*; Wiley and Sons; New York
75. Thilakasiri H. S. (2007); Qualitative interpretation of load-settlement curves of bored piles; *Engineer*, Vol. XXXX, No. 4 str. 61-68; 2007
76. Tomlinson M., Woodward J. (2008); *Pile Design and Construction Practice*; Taylor and Francis Londyn, Nowy Jork
77. Więclawski P. (2016); *Monografia na podstawie rozprawy doktorskiej Prognozowanie pracy pali Vibro obciążonych osiowo z wykorzystaniem wyników sondowania CPT*; Politechnika Gdańska

78. Wiłun Z. (1973); Zarys Geotechniki; Wydawnictwo Komunikacji i Łączności; Warszawa
79. Żarkiewicz K. (2017); Analiza formowania się oporu poboczniczy pala w gruntach niespoistych na podstawie modelowych badań laboratoryjnych; Rozprawa doktorska; Szczecin

Normy:

80. DIN 4014; Bored cast in place piles – Deutsche norm; Wrzesień 1977
81. PN-81/B-03020; Grunty Budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia i projektowanie; 1981
82. PN-83/B-02482; Nośność pali i fundamentów palowych; 1983
83. PN-EN-1997-1-2008; Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.

Źródła grafik:

84. <http://www.piletest.pl/oferta/obciazenia-dynamiczne> (dostęp 07.02.2020 r.)

Źródło wyników badań eksperymentalnych:

85. Opracowanie wyników badań udostępnione dla Autora

## Spis ilustracji:

Rys. 1 Schemat do obliczeń pala oraz postaci funkcji transferowych [30].....	17
Rys. 2 Wykres danych dla pala wg metody 80% Hansena [opracowanie Autora] .....	18
Rys. 3. Wykres danych do pala wg metody China-Kondnera [opracowanie Autora].....	19
Rys. 4 Wykres danych oraz przecięcie z osią poziomą wyznaczające nośność graniczną pala wg Decourta [opracowanie Autora].....	20
Rys. 5 Schemat odkształcenia gruntu wywołanym osiadaniem pala [opracowanie Autora].....	21
Rys. 6 Schemat krzywej M-K z asymptotami oraz zaznaczonymi obszarem zależności liniowej obciążenia od osiadania [51].....	22
Rys. 7 Porównanie wartości granicznego udźwigu pala wg różnych podejść obliczeniowych [69].....	24
Rys. 8 Badania fotogrametryczne wykonane przez Żarkiewicza obrazujące formowanie się gruntu przy obciążaniu pala w głowicy [79].....	25
Rys. 9 Schemat współpracy pala z gruntem [69].....	25
Rys. 10 Zmiana wielkości średnicy pala wraz ze zmianą udźwigu pala [58].....	26
Rys. 11 Teoretyczna różnica przebiegu krzywej obciążenie-osiadanie z uwzględnieniem $s_0$ [56].....	27
Rys. 12 Różnica wyników eksperymentalnych z uwzględnieniem w obliczeniach $s_0$ [56].....	27
Rys. 13 Przykład krzywej M-K z podziałem na składowe nośności pala, przedstawieniem pionowej asymptoty $N_{gr2}$ oraz osiągniętego ekstremum przy rozkładzie oporu pobocznic $T(s)$ [50].....	28
Rys. 14 Deformacja gruntu pod wpływem obciążenia w osi pala oraz powstające siły [79] .....	29
Rys. 15 przebieg stanów granicznych pala [68] .....	29
Rys. 16 Metoda ekstrapolacji krzywej obciążenie-osiadania PN-83/B-02482 [82].....	31
Rys. 17 Diagramy wyznaczania wartości oporu jednostkowego $q$ w zależności od głębokości $h_c$ w normie PN-83/B-02482 [82].....	33
Rys. 18 Diagram do wyznaczania oporu jednostkowego w zależności od zagłębienia pala wg normy PN-83/B-02482 [82].....	33
Rys. 19 Stanowisko do badania dynamicznego [84] .....	37
Rys. 20 Głowica przygotowania do badania dynamicznego [84].....	38
Rys. 21 Przykładowy schemat stanowiska do badania dynamicznego pala [34].....	38
Rys. 22 Schemat stanowiska przy zastosowaniu obciążenia na konstrukcji [76].....	39
Rys. 23 Schemat stanowiska przy zastosowaniu pali kotwiących [76].....	39
Rys. 24 Schemat stanowiska przy zastosowaniu prętów kotwiących [76].....	40
Rys. 25 przykładowy przebieg krzywej obciążenie-osiadania [opracowanie Autora].....	40
Rys. 26 Krzywa obciążenia osiadania otrzymana za pomocą ekstensometrów [opracowanie Autora] .....	41
Rys. 27 Krzywa obciążenia osiadania z literatury i odpowiadający jej rozkład siły w trzonie pala zmierzony za pomocą ekstensometrów [opracowanie Autora] .....	41
Rys. 28 Stożek do przeprowadzania badań CPTu z uwzględnieniem parcia wody [3].....	43
Rys. 29 Samochód do oporu stożka do 200 kN [84].....	44
Rys. 30 Lekka sonda do badań CPT [84].....	44
Rys. 31 wyniki otrzymywane w wyniku badań sondą CPTu [37].....	44

Rys. 32 Schemat wyznaczania średnich oporów podstawy $qc_1$ oraz $qc_2$ w metodzie Holenderskiej [68]	47
Rys. 33 Uproszczone opory i naprężenia pala obciążonego w głowicy i rozkład naprężenia na poboczniczy pala [opracowanie Autora]	50
Rys. 34 Odkształcenie gruntu oraz wartości osiadania pod wpływem obciążenia pala w głowicy [opracowanie Autora]	51
Rys. 35 Uproszczony schemat rozkładu naprężenia wzdłuż poboczniczy pala [opracowanie Autora]	53
Rys. 36 Wykresy składowych naprężenia otrzymanego w programie dla wartości $a \in < 0,005; 0,01 >$	54
Rys. 37 Przygotowane stanowisko do wykonania konstrukcji do obciążenia pala [opracowanie Autora]	57
Rys. 38 Trwające badanie pala za pomocą siłownika [opracowanie Autora]	58
Rys. 39 Wyniki badań sondą CPT do pala nr 3 [85]	60
Rys. 40 Rozmieszczenie czujników ekstensometrów oraz rozkład sił wzdłuż trzonu pala 3 [85]	60
Rys. 41 Wyniki badań sondą CPT do pala nr 4 [85]	61
Rys. 42 Rozmieszczenie czujników ekstensometrów oraz rozkład sił wzdłuż trzonu pala 3 [85]	61
Rys. 43 Wyniki badań sondą CPT do pala nr 4 [85]	62
Rys. 44 Rozmieszczenie czujników ekstensometrów oraz rozkład sił wzdłuż trzonu pala 5 [85]	62
Rys. 45 Rozmieszczenie czujników ekstensometrów oraz rozkład sił wzdłuż trzonu pala 6 oraz wykres oporu stożka sondy CPT [85]	63
Rys. 46 Schemat krzywej obciążenie osiadanie z asymptotami wg metody Meyera-Kowalowa [51]	67
Rys. 47 Rozkład normalny do najmniejszych sum kwadratów odchyłek Pala 1 [opracowanie Autora]	69
Rys. 48 Porównanie wykresów rozkładu sił obliczonych i z badań terenowych do Pala 1 [opracowanie Autora]	69
Rys. 49 Rozkład normalny dla najmniejszych sum kwadratów odchyłek Pala 2 [opracowanie Autora]	70
Rys. 50 Porównanie wykresów rozkładu sił obliczonych i z badań terenowych do Pala 2 [opracowanie Autora]	70
Rys. 51 Rozkład normalny dla najmniejszych sum kwadratów odchyłek Pala 3 [opracowanie Autora]	71
Rys. 52 Porównanie wykresów rozkładu sił obliczonych i z badań terenowych do Pala 3 [opracowanie Autora]	71
Rys. 53 Rozkład normalny dla najmniejszych sum kwadratów odchyłek Pala 4 [opracowanie Autora]	72
Rys. 54 Porównanie wykresów rozkładu sił obliczonych i z badań terenowych do Pala 4 [opracowanie Autora]	72
Rys. 55 Rozkład normalny dla najmniejszych sum kwadratów odchyłek Pala 5 [opracowanie Autora]	73
Rys. 56 Porównanie wykresów rozkładu sił obliczonych i z badań terenowych do Pala 5 [opracowanie Autora]	73
Rys. 57 Rozkład normalny dla najmniejszych sum kwadratów odchyłek Pala 5 [opracowanie Autora]	74
Rys. 58 Porównanie wykresów rozkładu sił obliczonych i z badań terenowych do Pala 5 [opracowanie Autora]	74
Rys. 59 Liniowa zależność między siłą przyłożoną w głowicy pala, a naprężeniem w poziomie głowicy, pal 1, $B_2 \cdot C_2 = 0,0105$ [opracowanie Autora]	75

Rys. 60 Liniowa zależność między siłą przyłożoną w głowicy pała, a naprężeniem w poziomie głowicy, pał 2, $B_2 \cdot C_2 = 0,0125$ [opracowanie Autora].....	75
Rys. 61 Liniowa zależność między siłą przyłożoną w głowicy pała, a naprężeniem w poziomie głowicy, pał 3, $B_2 \cdot C_2 = \{0,12; 0,15\}$ [opracowanie Autora] .....	76
Rys. 62 Liniowa zależność między siłą przyłożoną w głowicy pała, a naprężeniem w poziomie podstawy pał 3, $B_1 = 0,021$ [opracowanie Autora].....	76
Rys. 63 Liniowa zależność między siłą przyłożoną w głowicy pała, a naprężeniem w poziomie głowicy, pał 4, $B_2 \cdot C_2 = 0,016$ [opracowanie Autora].....	77
Rys. 64 Liniowa zależność między siłą przyłożoną w głowicy pała, a naprężeniem w poziomie podstawy pał 4, $B_1 = 0,016$ [opracowanie Autora].....	77
Rys. 65 Liniowa zależność między siłą przyłożoną w głowicy pała, a naprężeniem w poziomie głowicy, pał 5, $B_2 \cdot C_2 = 0,13$ [opracowanie Autora].....	78
Rys. 66 Liniowa zależność między siłą przyłożoną w głowicy pała, a naprężeniem w poziomie podstawy pał 5, $B_1 = 0,1$ [opracowanie Autora] .....	78
Rys. 67 Wykres zależności między siłą w głowicy pała, a naprężeniem w poziomie głowicy pała [opracowanie Autora].....	81
Rys. 68 Schemat naprężenia na pobocznicy pała do przypadku pała 6 [opracowanie Autora] .....	81
Rys. 69 Schemat formowania się naprężenia do pała 6 [opracowanie Autora].....	83
Rys. 70 Rozkład naprężenia w podstawie pała 6 po zastosowaniu dopasowanej metody obliczeniowej [opracowanie Autora].....	84
Rys. 71 Porównanie wartości naprężenia w głowicy pała 1 obiema metodami [opracowanie Autora] .....	85
Rys. 72 Porównanie wartości naprężenia w podstawie pała 1 obiema metodami [opracowanie Autora] ..	85
Rys. 73 Porównanie wartości naprężenia w głowicy pała 2 obiema metodami [opracowanie Autora] .....	86
Rys. 74 Porównanie wartości naprężenia w głowicy pała 3 obiema metodami [opracowanie Autora] .....	86
Rys. 75 Porównanie wartości naprężenia w podstawie pała 3 obiema metodami [opracowanie Autora] ..	87
Rys. 76 Porównanie wartości naprężenia w głowicy pała 4 obiema metodami [opracowanie Autora] .....	87
Rys. 77 Porównanie wartości naprężenia w podstawie pała 4 obiema metodami [opracowanie Autora] ..	88
Rys. 78 Porównanie wartości naprężenia w głowicy pała 5 obiema metodami [opracowanie Autora] .....	88
Rys. 79 Porównanie liniowej zależności oraz rozkładu otrzymanego w analizach matematycznych, pał 1 [opracowanie Autora].....	89
Rys. 80 Porównanie liniowej zależności oraz rozkładu otrzymanego w analizach matematycznych, pał 2 [opracowanie Autora].....	90
Rys. 81 Schematyczny rozkład liniowy naprężeń wzdłuż pobocznicy pała [opracowanie Autora].....	93
Rys. 82 Strefa uplastycznionego gruntu w formie „gruszki” w okolicy podstawy pała [opracowanie Autora] .....	95
Rys. 83 Porównanie wartości rozkładu liniowego $\tau_1$ z rozdziału 6.3 i otrzymanego wzorem (108) do pała 3 [opracowanie Autora].....	96
Rys. 84 Porównanie wartości rozkładu liniowego $\tau_2$ z rozdziału 6.3 i otrzymanego wzorem (109) do pała 3 [opracowanie Autora].....	96

Rys. 85 Porównanie wartości rozkładu liniowego $\tau_1$ z rozdziału 6.3 i otrzymanego wzorem (108) do pała 4 [opracowanie Autora].....	97
Rys. 86 Porównanie wartości rozkładu liniowego $\tau_2$ z rozdziału 6.3 i otrzymanego wzorem (109) do pała 4 [opracowanie Autora].....	97
Rys. 87 Porównanie wartości rozkładu liniowego $\tau_1$ z rozdziału 6.3 i otrzymanego wzorem (108) do pała 5 [opracowanie Autora].....	98
Rys. 88 Porównanie wartości rozkładu liniowego $\tau_2$ z rozdziału 6.3 i otrzymanego wzorem (109) do pała 5 [opracowanie Autora].....	98
Rys. 89 Formowanie się naprężenia pobocznicy pała na części długości pała [opracowanie Autora] ....	100

Spis tabel:

Tabela 1. Wartości oporów jednostkowych pod podstawą pała z normy PN-83/B-02482 [82] .....	32
Tabela 2. Jednostkowy opór opór podstawy $q_{bk}$ w zależności od współczynnika osiadania $s/D$ i średniego oporu pod podstawą sondy CPT $q_{ck}$ wg normy niemieckiej DIN4014 [80].....	34
Tabela 3. Charakterystyczna wartość oporu jednostkowego pobocznicy pała $q_{s/k}$ w zależności od oporu stożka sondy CPT wg normy niemieckiej DIN4014 [80] .....	34
Tabela 4. Wartość współczynnika „w” w metodzie Holenderskiej [68].....	47
Tabela 5. Wycinek tabeli porządkującej wartości osiadania oraz sił do analiz [opracowanie Autora].....	64
Tabela 6. Wycinek tabeli porządkującej do analiz wartości osiadania oraz sił [opracowanie Autora].....	65
Tabela 7. Tabelaryczne zestawienie wartości sił na długości trzonu pała przy największej sile przyłożonej w głowicy pała 1 [opracowanie Autora].....	69
Tabela 8. Tabelaryczne zestawienie wartości sił na długości trzonu pała przy największej sile przyłożonej w głowicy pała 2 [opracowanie Autora].....	70
Tabela 9. Tabelaryczne zestawienie wartości sił na długości trzonu pała przy największej sile przyłożonej w głowicy pała 3 [opracowanie Autora].....	71
Tabela 10. Tabelaryczne zestawienie wartości sił na długości trzonu pała przy największej sile przyłożonej w głowicy pała 4 [opracowanie Autora].....	72
Tabela 11. Tabelaryczne zestawienie wartości sił na długości trzonu pała przy największej sile przyłożonej w głowicy pała 5 [opracowanie Autora].....	73
Tabela 12. Tabelaryczne zestawienie wartości sił na długości trzonu pała przy największej sile przyłożonej w głowicy pała 5 [opracowanie Autora].....	74
Tabela 13. Wzór otrzymany aproksymacją kwadratową oraz wartości $\tau 2'$ – otrzymane metodą analityczną regresji, $\tau 2$ – otrzymane na podstawie pełnej analizy badań terenowych [opracowanie Autora].....	80
Tabela 14. Wartości naprężenia w $\tau 1$ oraz schematu formowania się $h 1$ w zależności od siły $N 2$ [opracowanie Autora].....	83

## Spis załączników

Zał. 1 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 1; $N_2 = 2250 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	124
Zał. 1a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 1; $N_2 = 2250 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	124
Zał. 2 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 1; $N_2 = 3400 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	125
Zał. 2a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 1; $N_2 = 3400 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	125
Zał. 3 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 1; $N_2 = 4450 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	126
Zał. 3a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 1; $N_2 = 4450 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	126
Zał. 4 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 1; $N_2 = 5600 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	127
Zał. 4a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 1; $N_2 = 5600 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	127
Zał. 5 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 1; $N_2 = 6600 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	128
Zał. 5a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 1; $N_2 = 6600 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	128
Zał. 6 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 1; $N_2 = 7385 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	129
Zał. 6a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 1; $N_2 = 7385 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	129
Zał. 7 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 1; $N_2 = 8300 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	130
Zał. 7a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 1; $N_2 = 8300 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	130
Zał. 8 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 1; $N_2 = 9200 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	131
Zał. 8a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 1; $N_2 = 9200 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	131
Zał. 9 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 1; $N_2 = 10000 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	132
Zał. 9a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 1; $N_2 = 10000 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	132
Zał. 10 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 1; $N_2 = 11200 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	133

Zał. 10a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 1; $N_2 = 11200 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	133
Zał. 11 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 2; $N_2 = 1082 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	134
Zał. 11a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 2; $N_2 = 1082 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	134
Zał. 12 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 2; $N_2 = 2235 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	135
Zał. 12a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 2; $N_2 = 2235 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	135
Zał. 13 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 2; $N_2 = 3576 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	136
Zał. 13a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 2; $N_2 = 3576 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	136
Zał. 14 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 2; $N_2 = 4470 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	137
Zał. 14a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 2; $N_2 = 4470 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	137
Zał. 15 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 2; $N_2 = 5588 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	138
Zał. 15a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 2; $N_2 = 5588 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	138
Zał. 16 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 2; $N_2 = 6658 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	139
Zał. 16a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 2; $N_2 = 6658 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	139
Zał. 17 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 2; $N_2 = 7756 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	140
Zał. 17a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 2; $N_2 = 7756 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	140
Zał. 18 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 2; $N_2 = 8352 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	141
Zał. 18a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 2; $N_2 = 8352 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	141
Zał. 19 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 2; $N_2 = 9176 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	142
Zał. 19a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 2; $N_2 = 9176 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	142
Zał. 20 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 2; $N_2 = 10000 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	143



Zał. 20a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 2; $N_2 = 10000\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	143
Zał. 21 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 2; $N_2 = 11200\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	144
Zał. 21a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 2; $N_2 = 11200\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	144
Zał. 22 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 3; $N_2 = 400\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	145
Zał. 22a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 3; $N_2 = 400\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	145
Zał. 23 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 3; $N_2 = 800\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	146
Zał. 23a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 3; $N_2 = 800\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	146
Zał. 24 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 3; $N_2 = 1200\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	147
Zał. 24a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 3; $N_2 = 1200\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	147
Zał. 25 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 3; $N_2 = 1600\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	148
Zał. 25a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 3; $N_2 = 1600\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	148
Zał. 26 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 3; $N_2 = 2000\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	149
Zał. 26a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 3; $N_2 = 2000\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	149
Zał. 27 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 3; $N_2 = 2400\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	150
Zał. 27a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 3; $N_2 = 2400\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	150
Zał. 28 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 3; $N_2 = 2800\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	151
Zał. 28a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 3; $N_2 = 2800\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	151
Zał. 29 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 3; $N_2 = 3100\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	152
Zał. 29a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 3; $N_2 = 3100\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	152
Zał. 30 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 3; $N_2 = 3400\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	153

Zał. 30a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 3; $N_2 = 3400\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	153
Zał. 31 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 3; $N_2 = 3700\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	154
Zał. 31a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 3; $N_2 = 3700\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	154
Zał. 32 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 3; $N_2 = 4000\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	155
Zał. 32a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 3; $N_2 = 4000\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	155
Zał. 33 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 3; $N_2 = 4300\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	156
Zał. 33a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 3; $N_2 = 4300\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	156
Zał. 34 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 3; $N_2 = 4600\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	157
Zał. 34a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 3; $N_2 = 4600\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	157
Zał. 35 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 3; $N_2 = 4900\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	158
Zał. 35a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 3; $N_2 = 4900\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	158
Zał. 36 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 3; $N_2 = 5200\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	159
Zał. 36a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 3; $N_2 = 5200\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	159
Zał. 37 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 3; $N_2 = 5500\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	160
Zał. 37a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 3; $N_2 = 5500\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	160
Zał. 38 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 3; $N_2 = 5800\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	161
Zał. 38a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 3; $N_2 = 5800\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	161
Zał. 39 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 3; $N_2 = 6100\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	162
Zał. 39a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 3; $N_2 = 6100\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	162
Zał. 40 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 4; $N_2 = 300\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	163

Zał. 40a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 4; $N_2 = 300\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	163
Zał. 41 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 4; $N_2 = 600\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	164
Zał. 41a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 4; $N_2 = 600\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	164
Zał. 42 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 4; $N_2 = 900\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	165
Zał. 42a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 4; $N_2 = 900\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	165
Zał. 43 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 4; $N_2 = 1200\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	166
Zał. 43a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 4; $N_2 = 1200\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	166
Zał. 44 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 4; $N_2 = 1500\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	167
Zał. 44a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 4; $N_2 = 1500\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	167
Zał. 45 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 4; $N_2 = 1800\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	168
Zał. 45a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 4; $N_2 = 1800\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	168
Zał. 46 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 4; $N_2 = 2100\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	169
Zał. 46a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 4; $N_2 = 2100\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	169
Zał. 47 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 4; $N_2 = 2400\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	170
Zał. 47a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 4; $N_2 = 2400\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	170
Zał. 48 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 4; $N_2 = 2700\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	171
Zał. 48a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 4; $N_2 = 2700\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	171
Zał. 49 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 4; $N_2 = 3000\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	172
Zał. 49a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 4; $N_2 = 3000\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	172
Zał. 50 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 4; $N_2 = 3300\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	173

Zał. 50a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 4; $N_2 = 3300\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	173
Zał. 51 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 4; $N_2 = 3600\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	174
Zał. 51a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 4; $N_2 = 3600\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	174
Zał. 52 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 4; $N_2 = 3900\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	175
Zał. 52a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 4; $N_2 = 3900\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	175
Zał. 53 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 4; $N_2 = 4200\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	176
Zał. 53a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 4; $N_2 = 4200\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	176
Zał. 54 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 4; $N_2 = 4500\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	177
Zał. 54a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 4; $N_2 = 4500\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	177
Zał. 55 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 4; $N_2 = 4800\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	178
Zał. 55a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 4; $N_2 = 4800\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	178
Zał. 56 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 5; $N_2 = 150\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	179
Zał. 56a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 5; $N_2 = 150\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	179
Zał. 57 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 5; $N_2 = 301\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	180
Zał. 57a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 5; $N_2 = 301\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	180
Zał. 58 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 5; $N_2 = 445\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	181
Zał. 58a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 5; $N_2 = 445\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	181
Zał. 59 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 5; $N_2 = 596\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	182
Zał. 59a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 5; $N_2 = 596\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	182
Zał. 60 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 5; $N_2 = 745\text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pała .....	183

Zał. 60a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 5; $N_2 = 745 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	183
Zał. 61 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 5; $N_2 = 817 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	184
Zał. 61a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 5; $N_2 = 817 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	184
Zał. 62 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 5; $N_2 = 893 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	185
Zał. 62a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 5; $N_2 = 893 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	185
Zał. 63 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 5; $N_2 = 963 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	186
Zał. 63a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 5; $N_2 = 963 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	186
Zał. 64 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6; $N_2 = 94 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	187
Zał. 64a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6; $N_2 = 94 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	187
Zał. 65 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6; $N_2 = 205 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	188
Zał. 65a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6; $N_2 = 205 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	188
Zał. 66 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6; $N_2 = 205 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	189
Zał. 66a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6; $N_2 = 205 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	189
Zał. 67 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6; $N_2 = 411 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	190
Zał. 67a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6; $N_2 = 411 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	190
Zał. 68 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6; $N_2 = 529 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	191
Zał. 68a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6; $N_2 = 529 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	191
Zał. 69 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6; $N_2 = 647 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	192
Zał. 69a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6; $N_2 = 647 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	192
Zał. 70 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6; $N_2 = 776 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	193

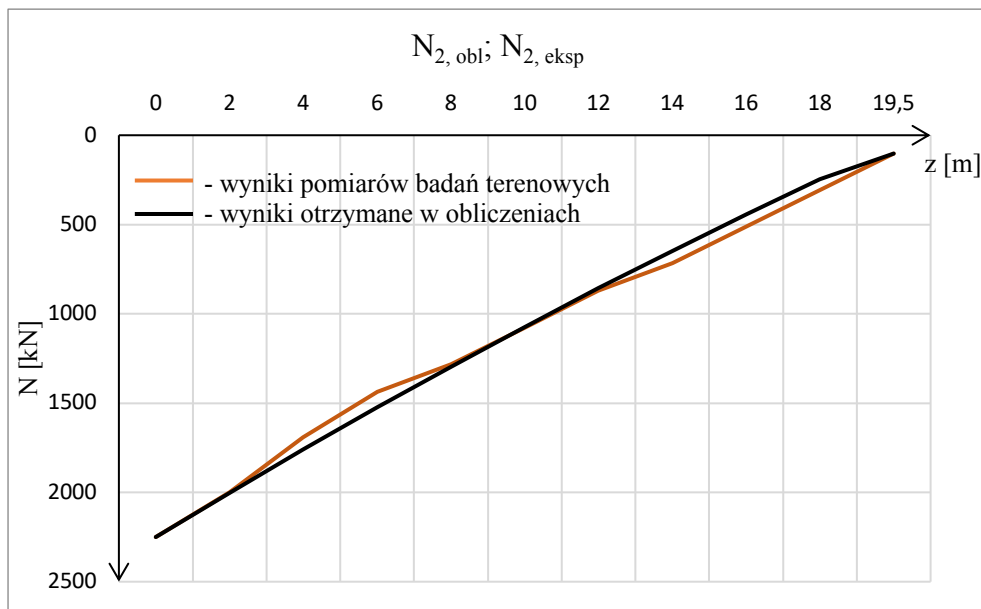
Zał. 70a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6; $N_2 = 776 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	193
Zał. 71 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6; $N_2 = 900 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	194
Zał. 71a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6; $N_2 = 900 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	194
Zał. 72 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6; $N_2 = 1023 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	195
Zał. 72a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6; $N_2 = 1023 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	195
Zał. 73 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6; $N_2 = 1200 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	196
Zał. 73a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6; $N_2 = 1200 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	196
Zał. 74 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6; $N_2 = 1335 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	197
Zał. 74a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6; $N_2 = 1335 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	197
Zał. 75 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6; $N_2 = 1476 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	198
Zał. 75a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6; $N_2 = 1476 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	198
Zał. 76 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6; $N_2 = 1617 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	199
Zał. 76a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6; $N_2 = 1617 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	199
Zał. 77 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6; $N_2 = 1729 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	200
Zał. 77a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6; $N_2 = 1729 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	200
Zał. 78 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6; $N_2 = 1858 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	201
Zał. 78a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6; $N_2 = 1858 \text{ kN}$ – siła przyłożona w głowicy pala .....	201
Zał. 79a Wartości sił w trzonie Pala 1 cz. 1 .....	202
Zał. 79b Wartości sił w trzonie Pala 1 cz. 2 .....	202
Zał. 79c Wartości sił w trzonie Pala 1 cz. 3 .....	203
Zał. 80a Wartości sił w trzonie Pala 2 cz. 1 .....	203
Zał. 80b Wartości sił w trzonie Pala 2 cz. 2 .....	204
Zał. 80c Wartości sił w trzonie Pala 2 cz. 3 .....	204

Zał. 81a Wartości sił w trzonie Pała 3 cz. 1 .....	205
Zał. 81b Wartości sił w trzonie Pała 3 cz. 2 .....	206
Zał. 81c Wartości sił w trzonie Pała 3 cz. 3 .....	206
Zał. 82a Wartości sił w trzonie Pała 4 cz. 1 .....	207
Zał. 82b Wartości sił w trzonie Pała 4 cz. 2 .....	208
Zał. 82c Wartości sił w trzonie Pała 4 cz. 3 .....	208
Zał. 83 Wartości sił w trzonie Pała 5 .....	209
Zał. 84a Wartości sił w trzonie Pała 6 cz. 1 .....	210
Zał. 84b Wartości sił w trzonie Pała 6 cz. 2 .....	210
Zał. 84c Wartości sił w trzonie Pała 6 cz. 3 .....	211

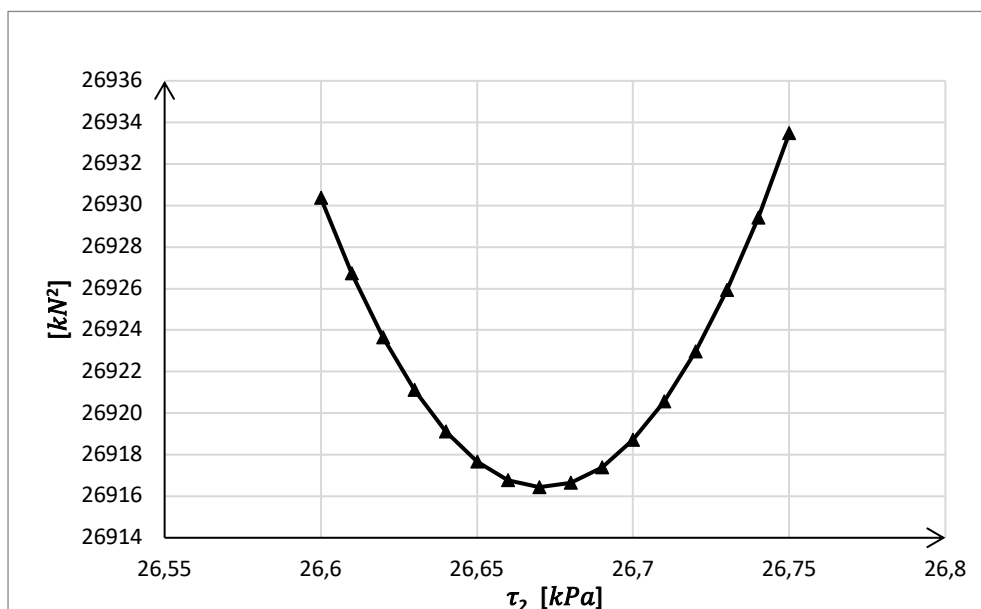
Załączniki:

PAL 1;  $N_2 = 2250 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 1 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 1;  $N_2 = 2250 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała



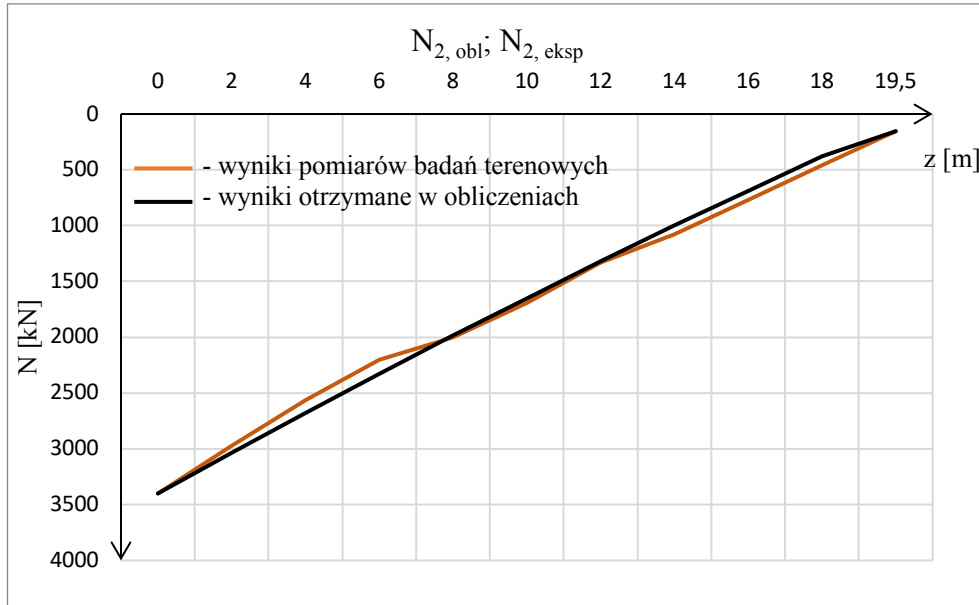
Zał. 1a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 1;  $N_2 = 2250 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała



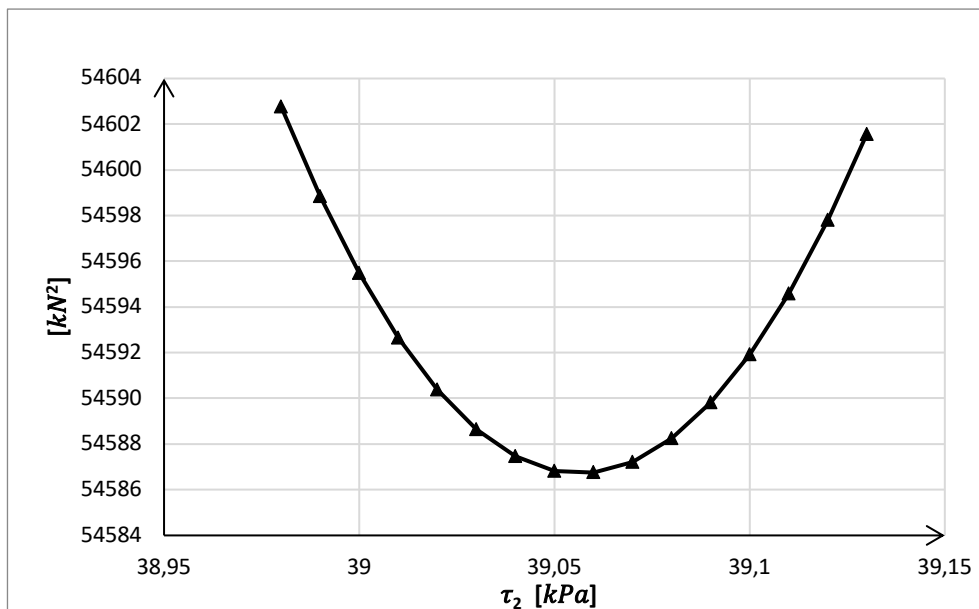


PAL 1;  $N_2 = 3400 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 2 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 1;  $N_2 = 3400 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

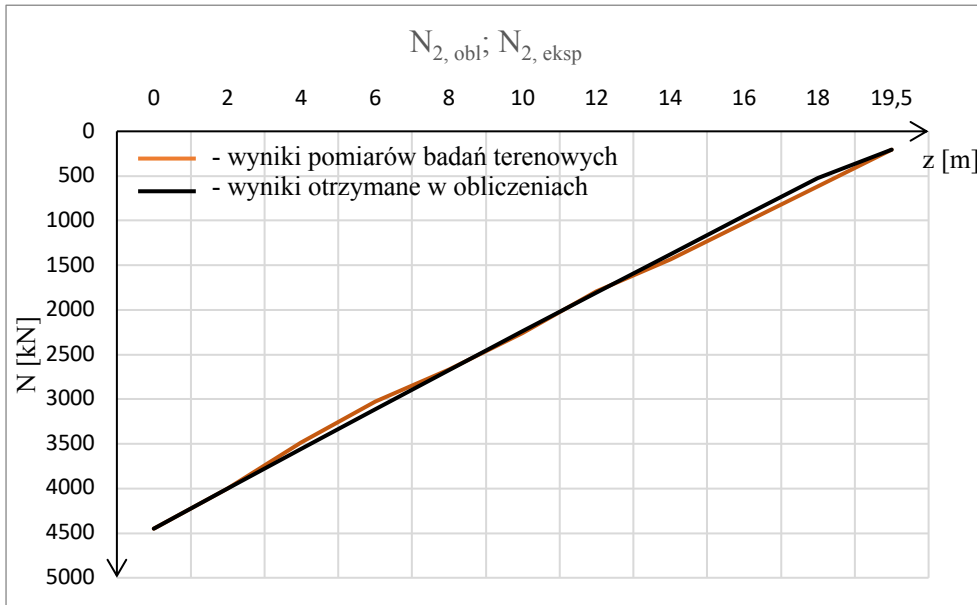


Zał. 2a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 1;  $N_2 = 3400 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

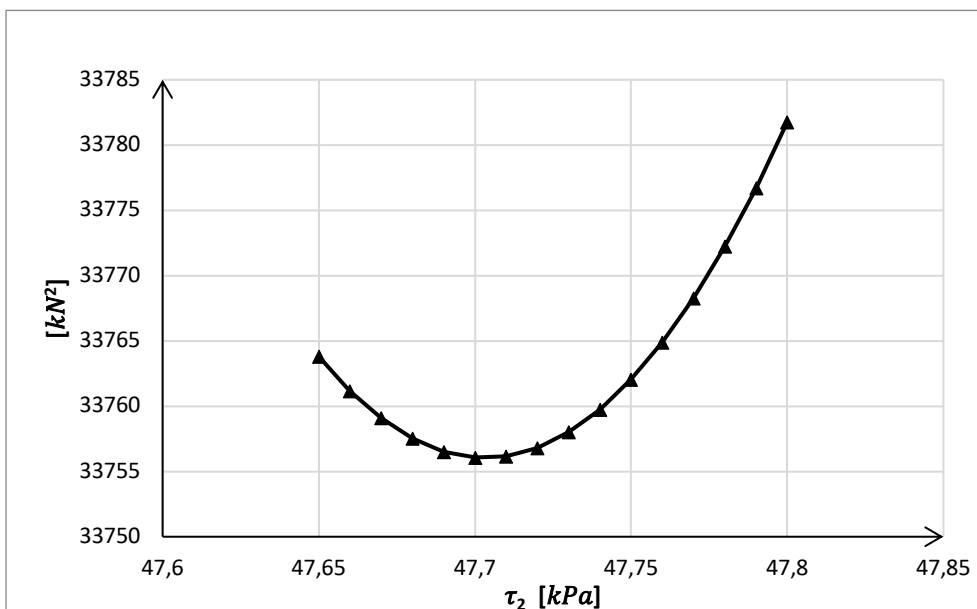


PAL 1;  $N_2 = 4450 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Załącznik 3 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 1;  $N_2 = 4450 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

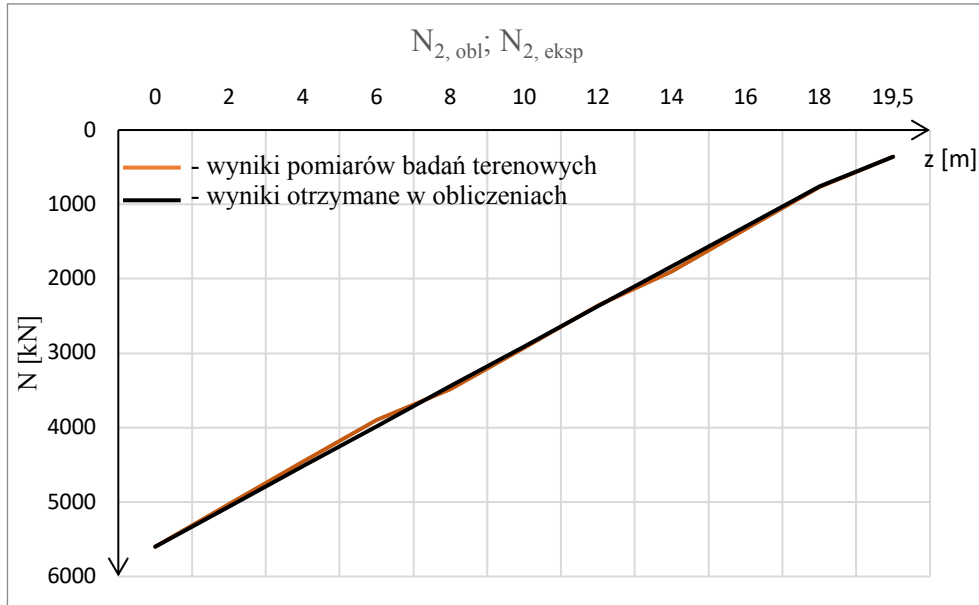


Załącznik 3a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 1;  $N_2 = 4450 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

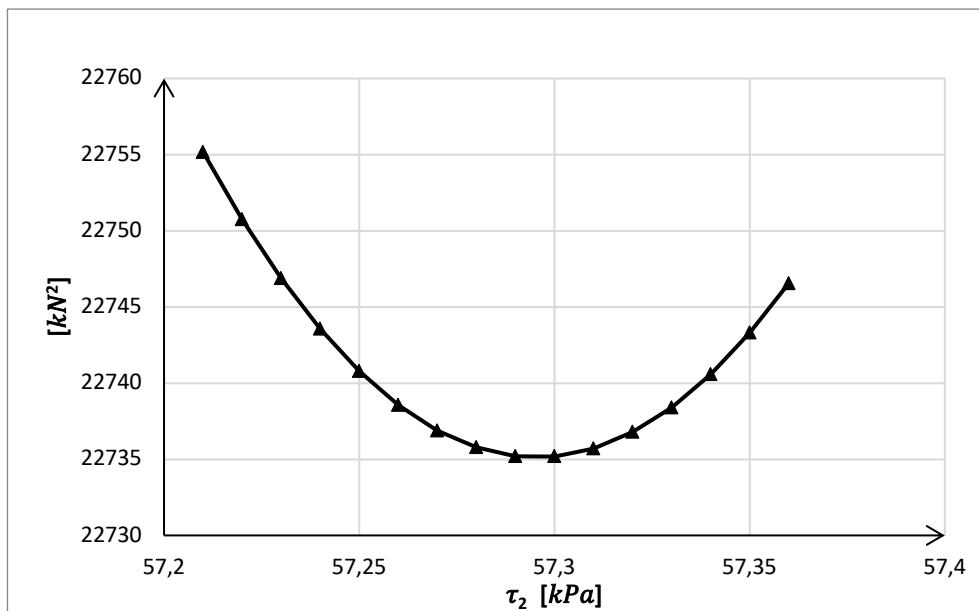


PAL 1;  $N_2 = 5600 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 4 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 1;  $N_2 = 5600 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

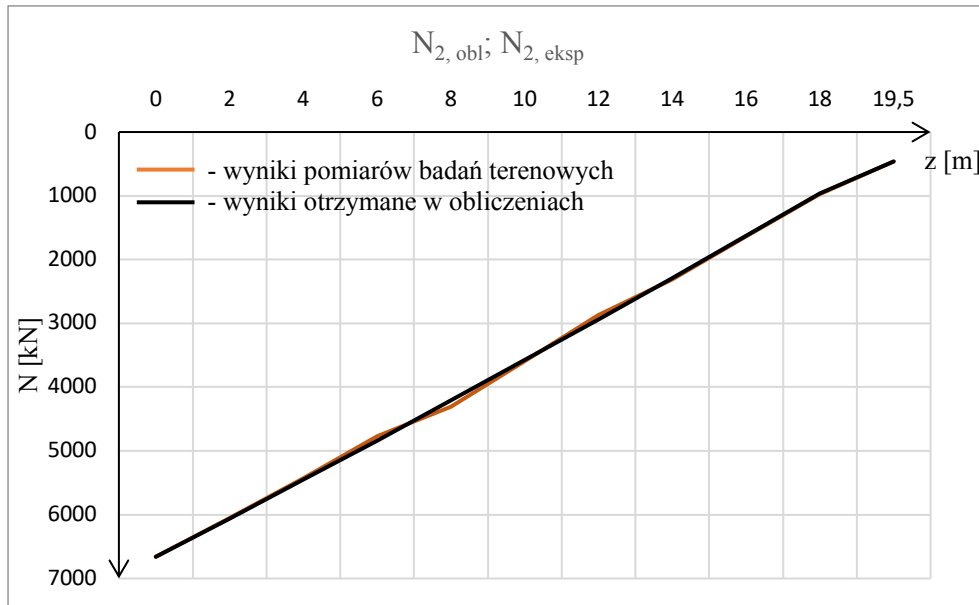


Zał. 4a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 1;  $N_2 = 5600 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

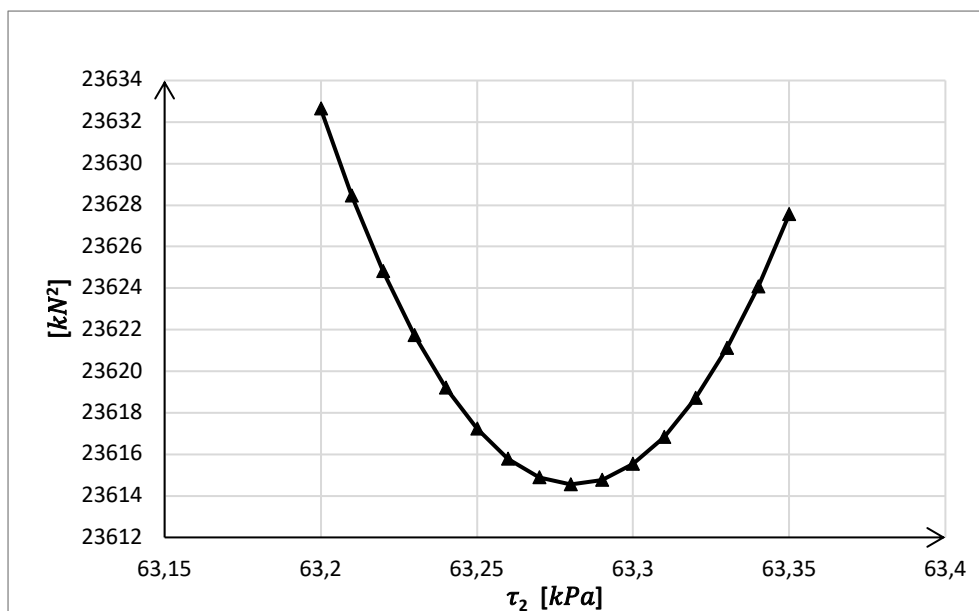


PAL 1;  $N_2 = 6600 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 5 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 1;  $N_2 = 6600 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

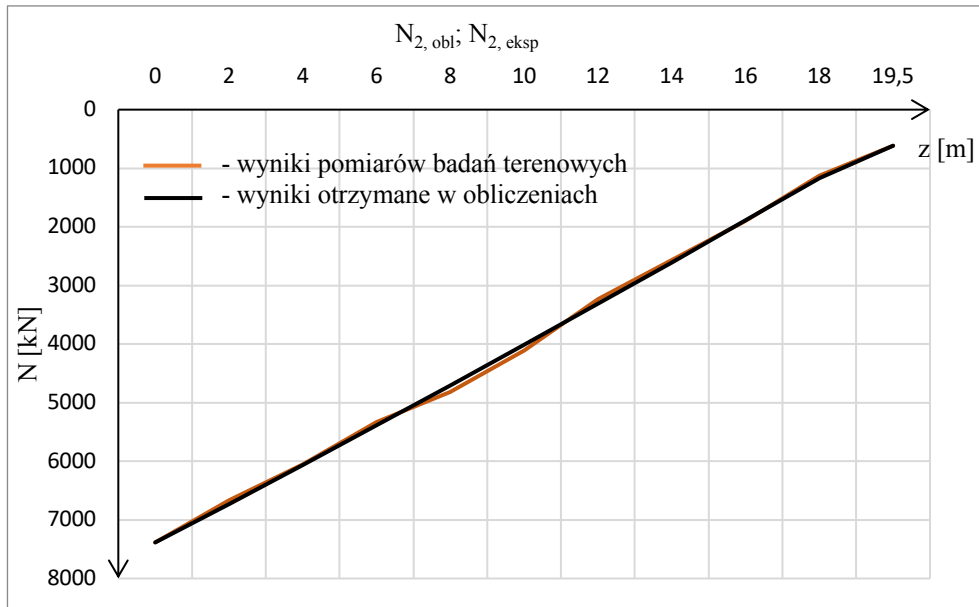


Zał. 5a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 1;  $N_2 = 6600 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

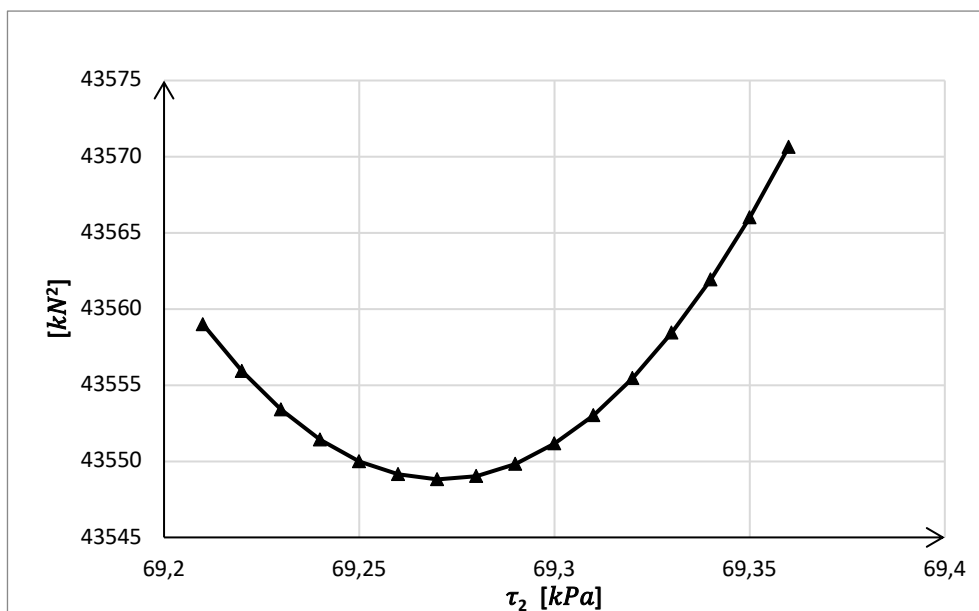


PAL 1;  $N_2 = 7385 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 6 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 1;  $N_2 = 7385 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

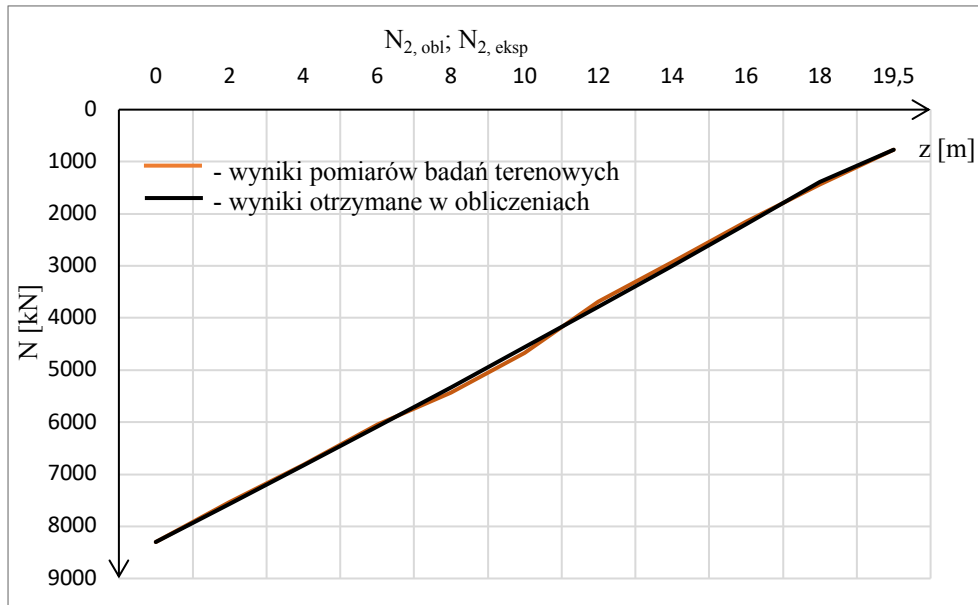


Zał. 6a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 1;  $N_2 = 7385 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

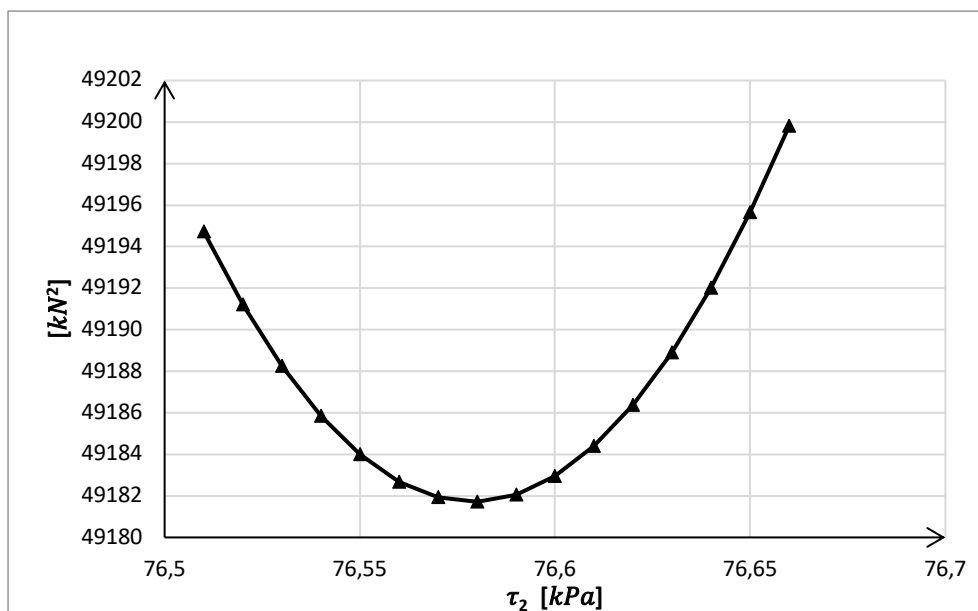


PAL 1;  $N_2 = 8300 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Załącznik 7 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 1;  $N_2 = 8300 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

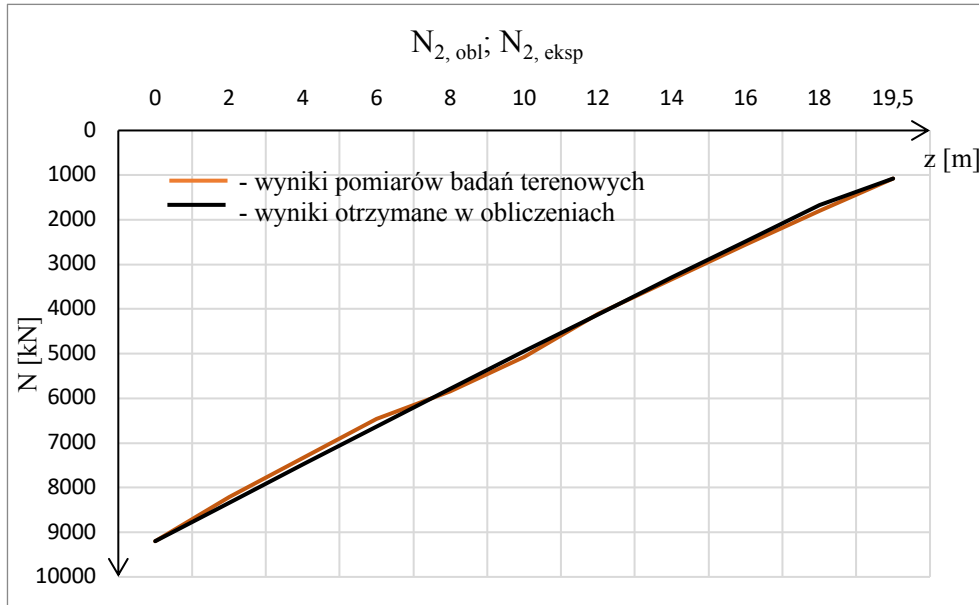


Załącznik 7a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 1;  $N_2 = 8300 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

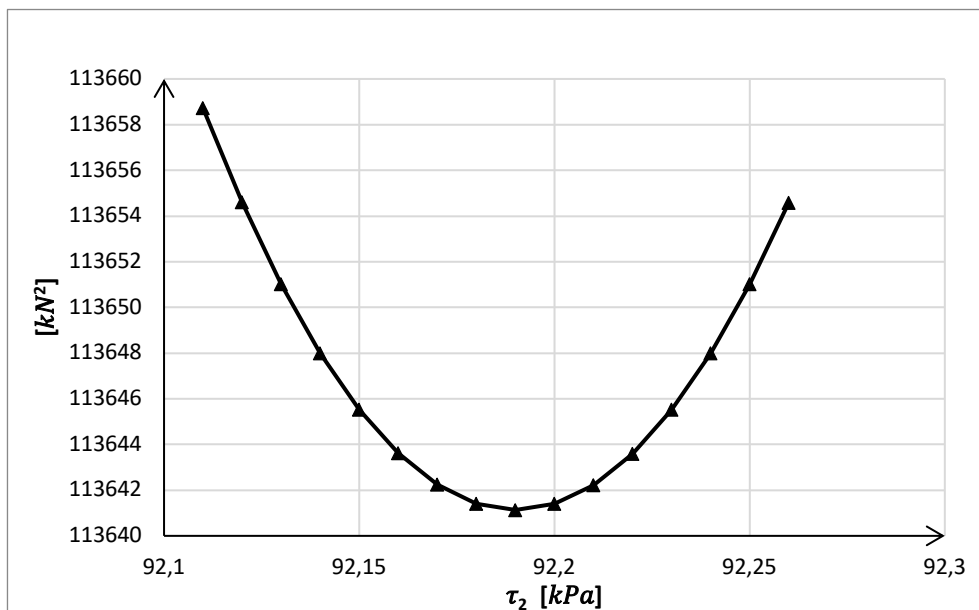


PAL 1;  $N_2 = 9200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 8 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 1;  $N_2 = 9200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

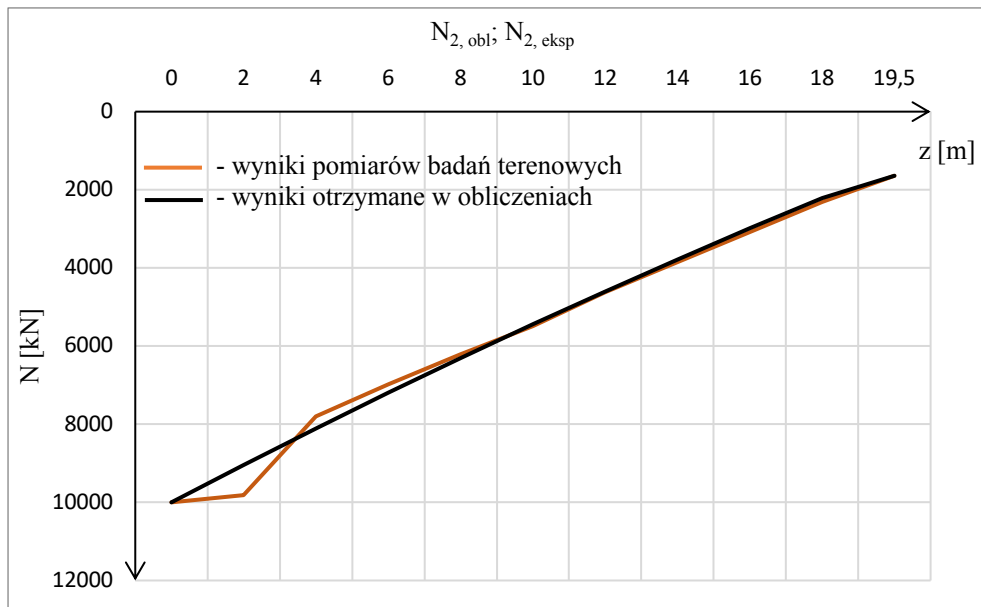


Zał. 8a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 1;  $N_2 = 9200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

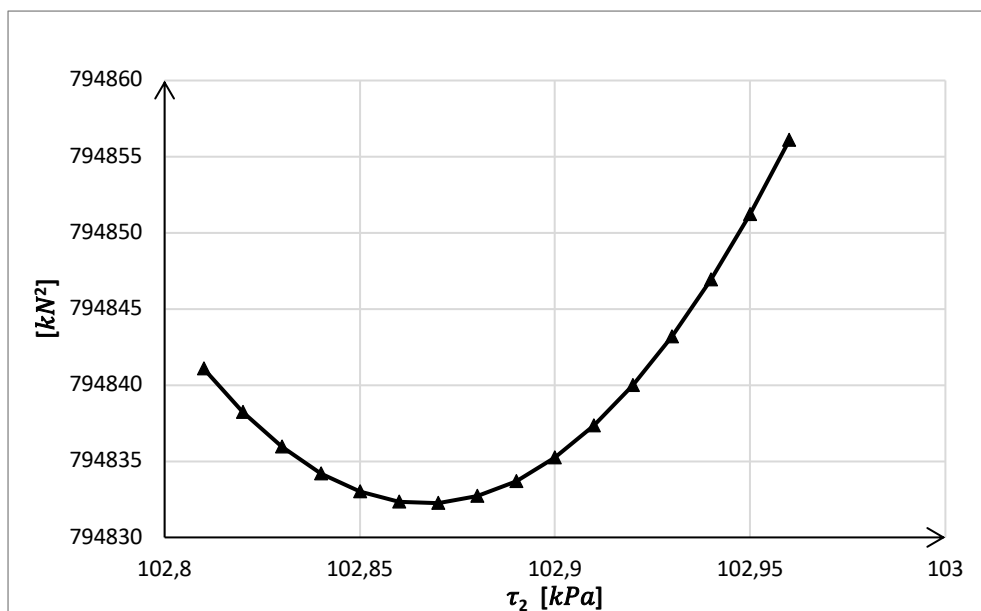


PAL 1;  $N_2 = 10000 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Załącznik 9 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 1;  $N_2 = 10000 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala



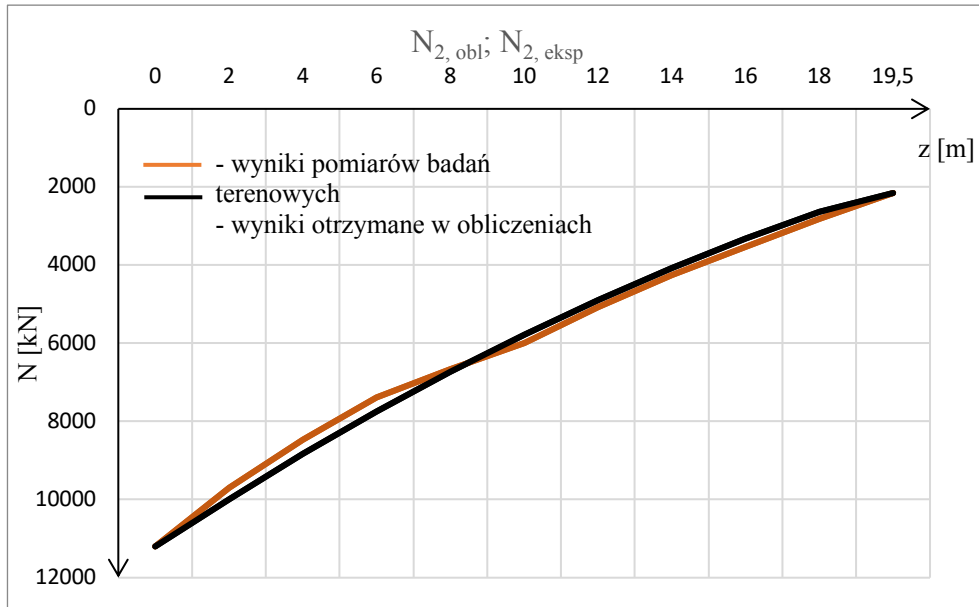
Załącznik 9a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 1;  $N_2 = 10000 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala



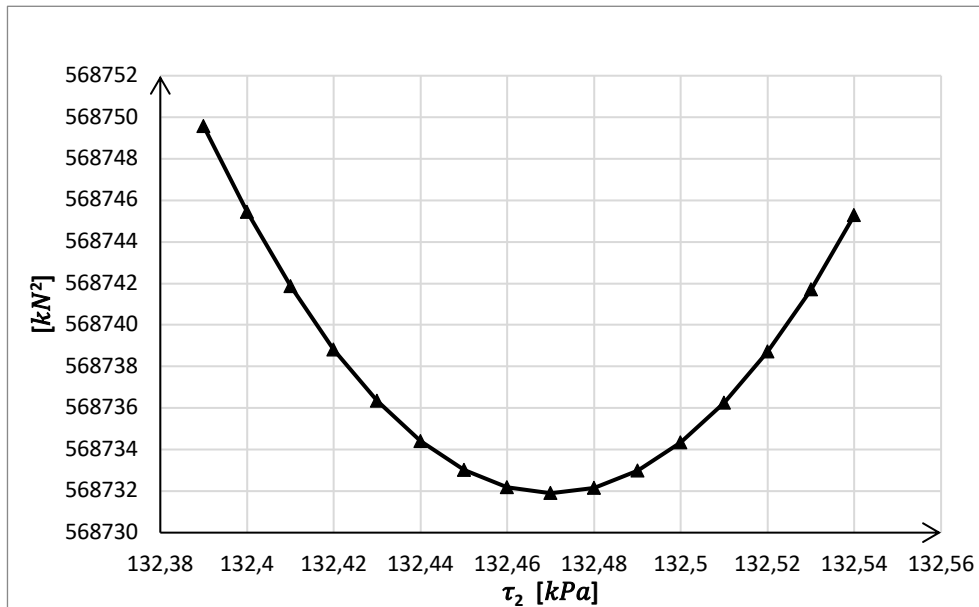


PAL 1;  $N_2 = 11200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 10 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 1;  $N_2 = 11200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

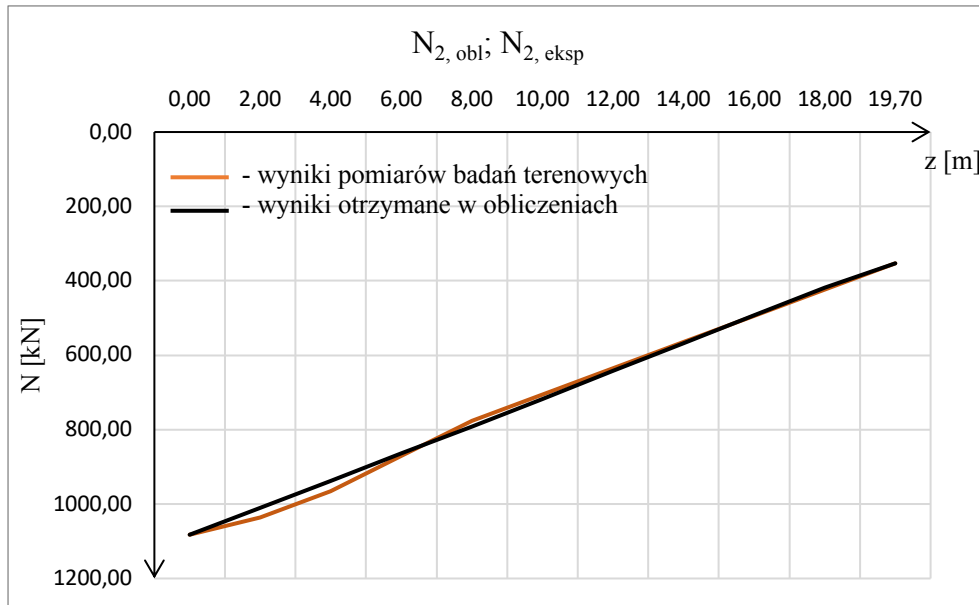


Zał. 10a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 1;  $N_2 = 11200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

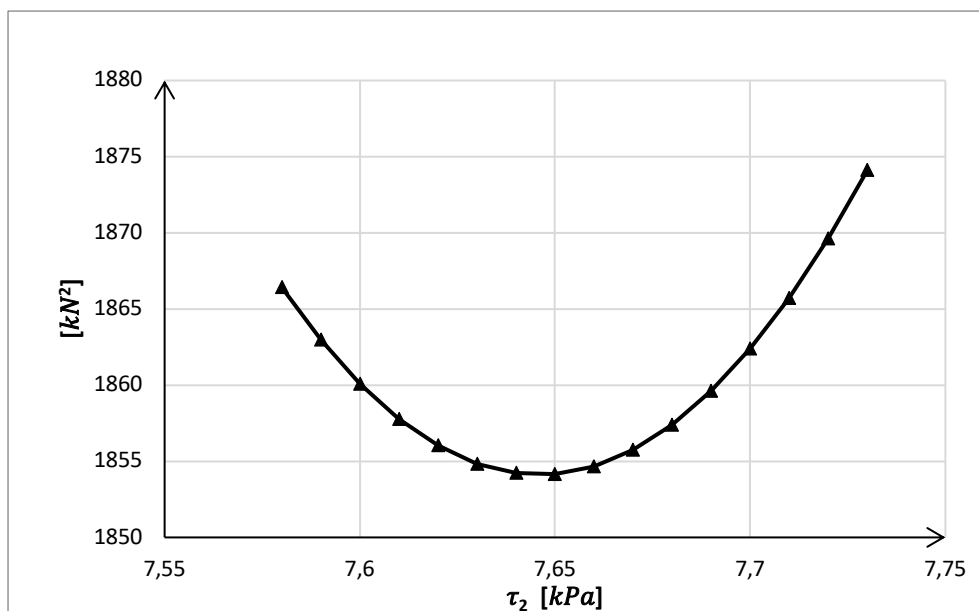


PAL 2;  $N_2 = 1082 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 11 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 2;  $N_2 = 1082 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

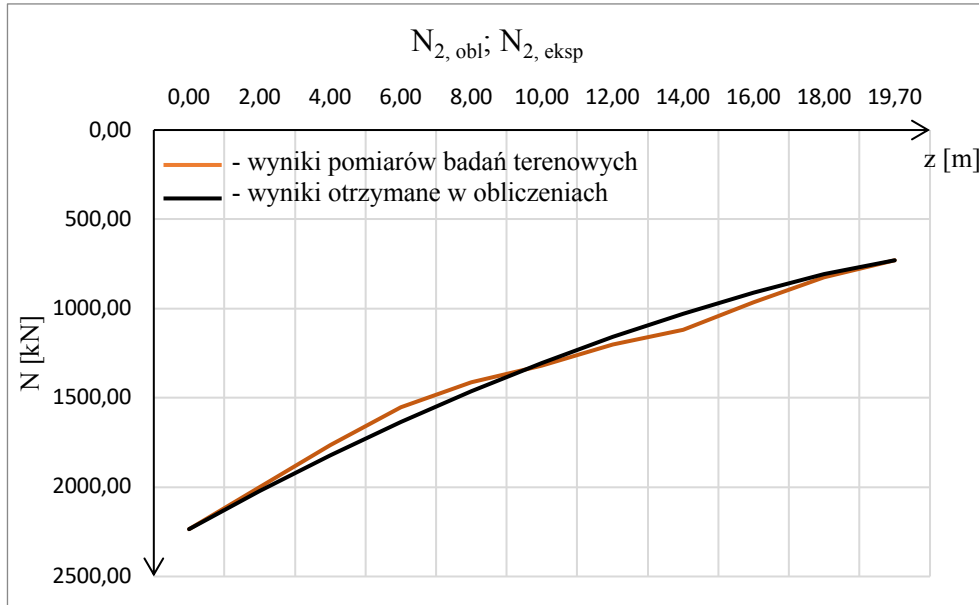


Zał. 11a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 2;  $N_2 = 1082 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

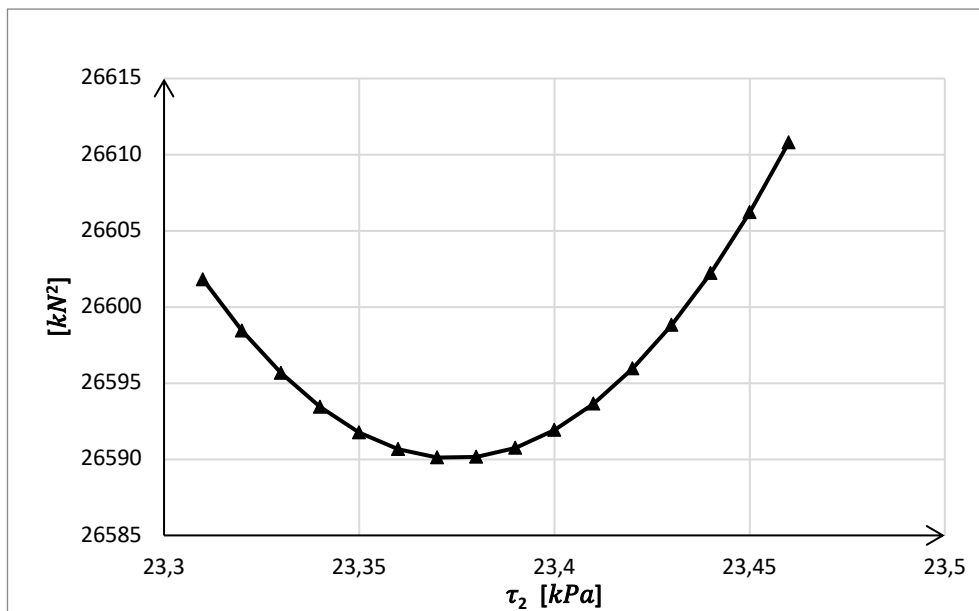


PAL 2;  $N_2 = 2235 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 12 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 2;  $N_2 = 2235 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

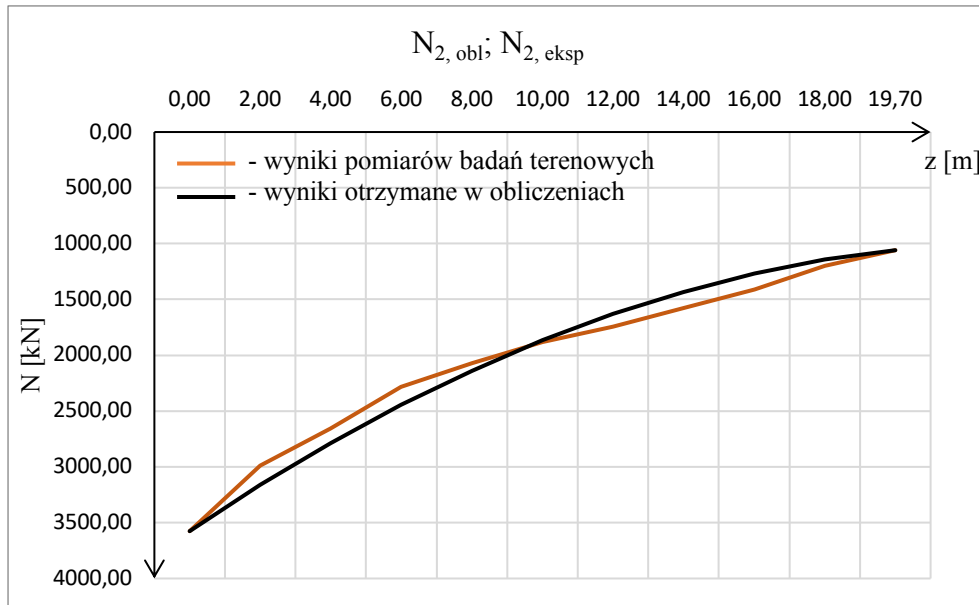


Zał. 12a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 2;  $N_2 = 2235 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

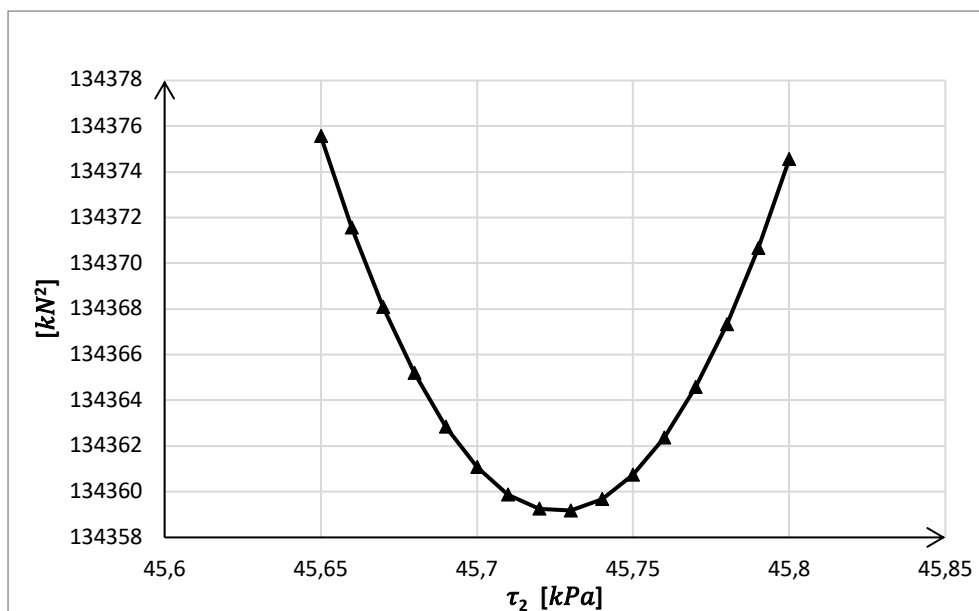


PAL 2;  $N_2 = 3576 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 13 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 2;  $N_2 = 3576 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

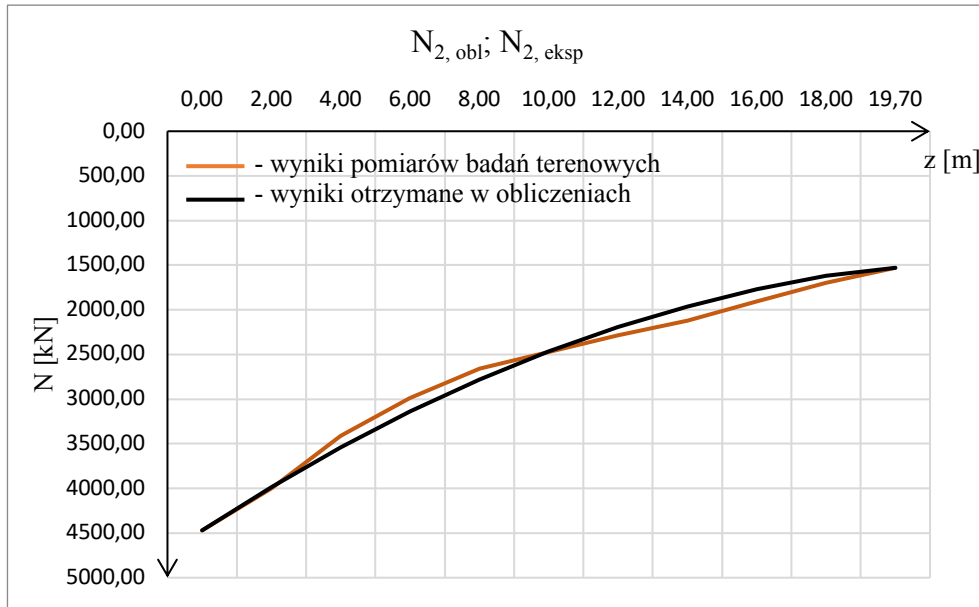


Zał. 13a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 2;  $N_2 = 3576 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

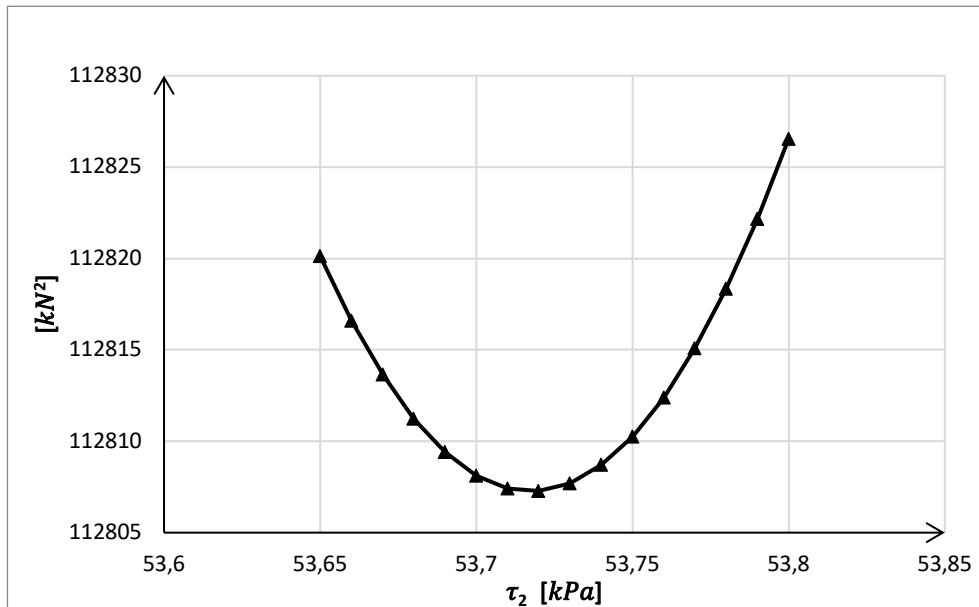


PAL 2;  $N_2 = 4470 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 14 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 2;  $N_2 = 4470 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

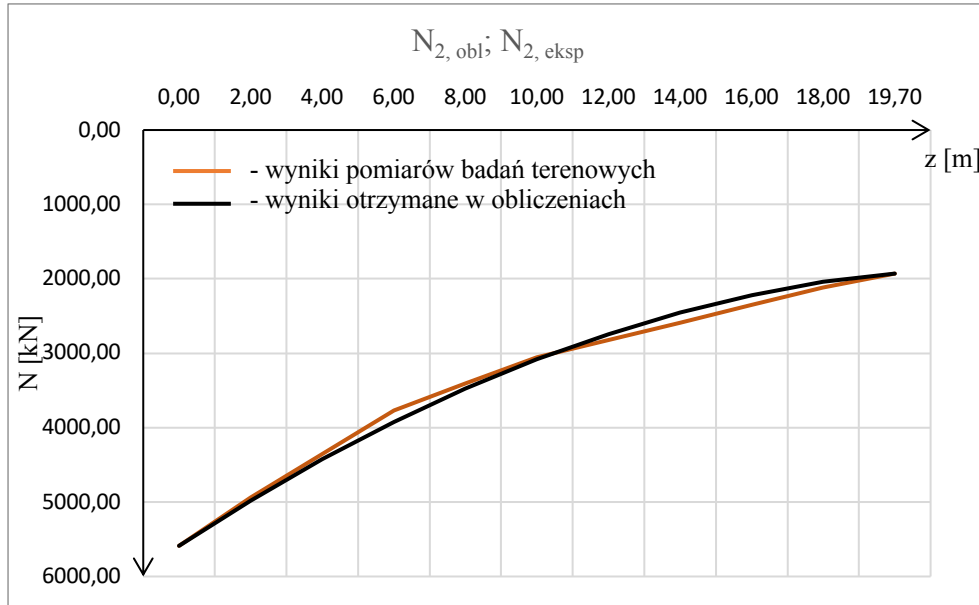


Zał. 14a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 2;  $N_2 = 4470 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

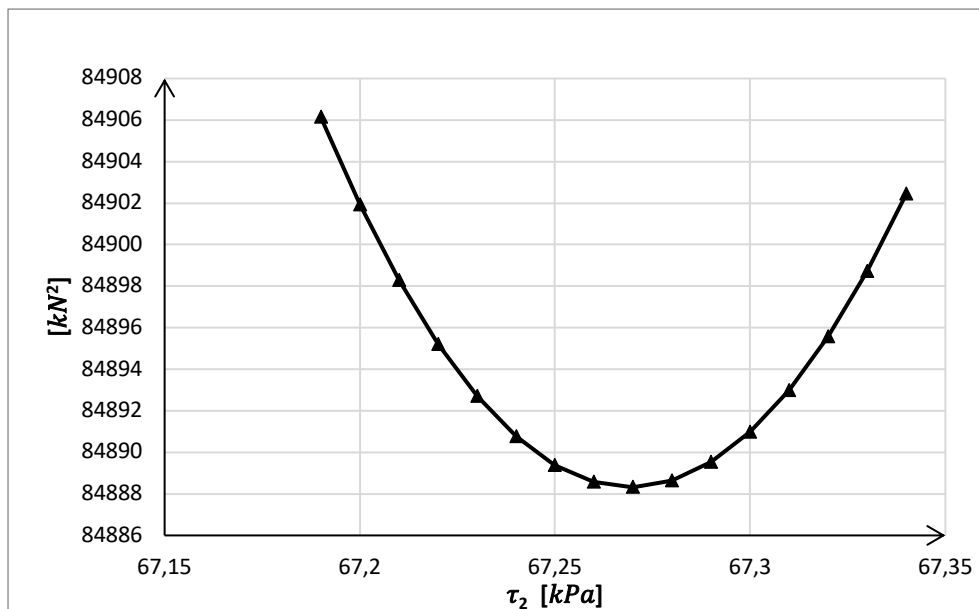


PAL 2;  $N_2 = 5588 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Załącznik 15 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 2;  $N_2 = 5588 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

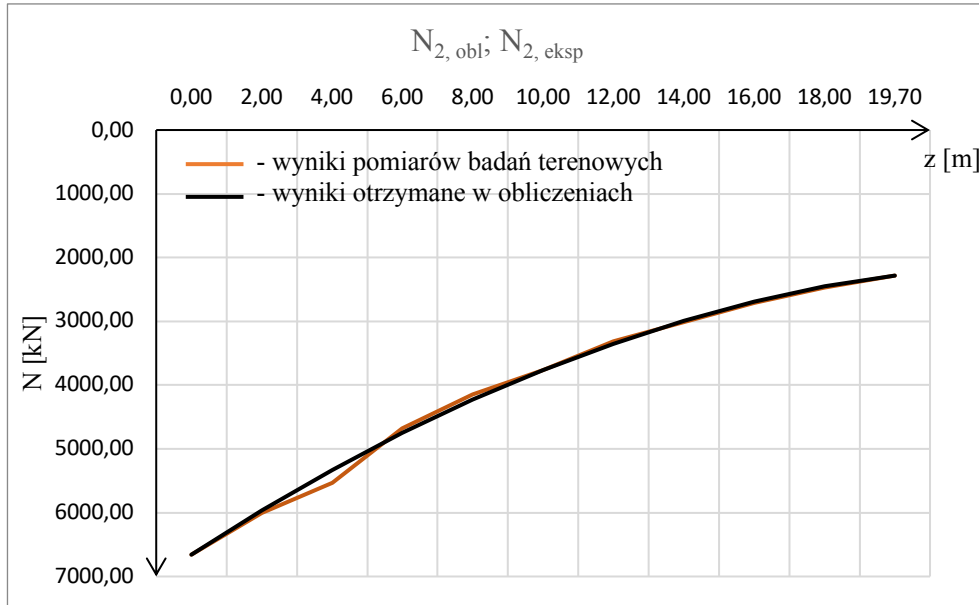


Załącznik 15a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 2;  $N_2 = 5588 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

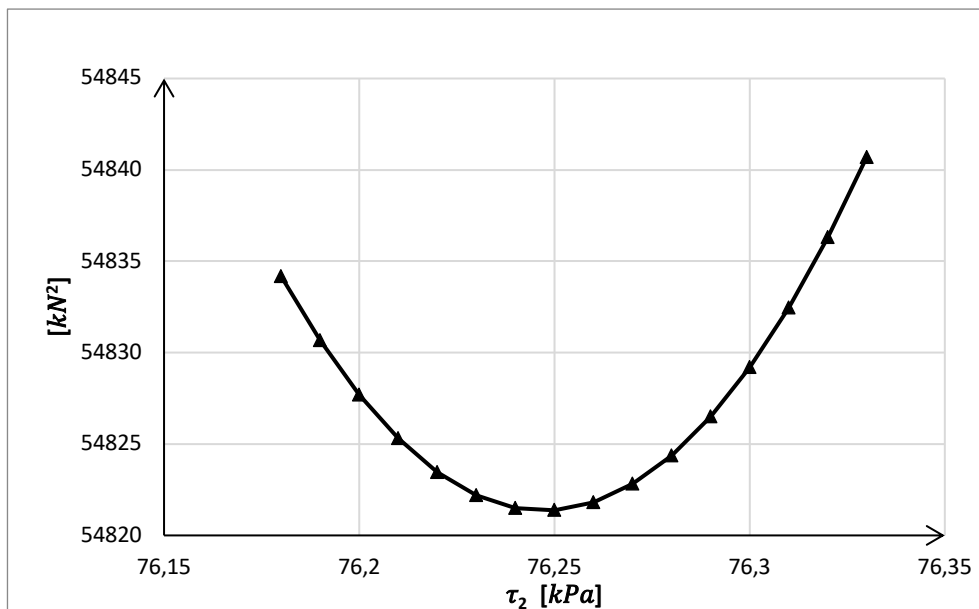


PAL 2;  $N_2 = 6658 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Załącznik 16 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 2;  $N_2 = 6658 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

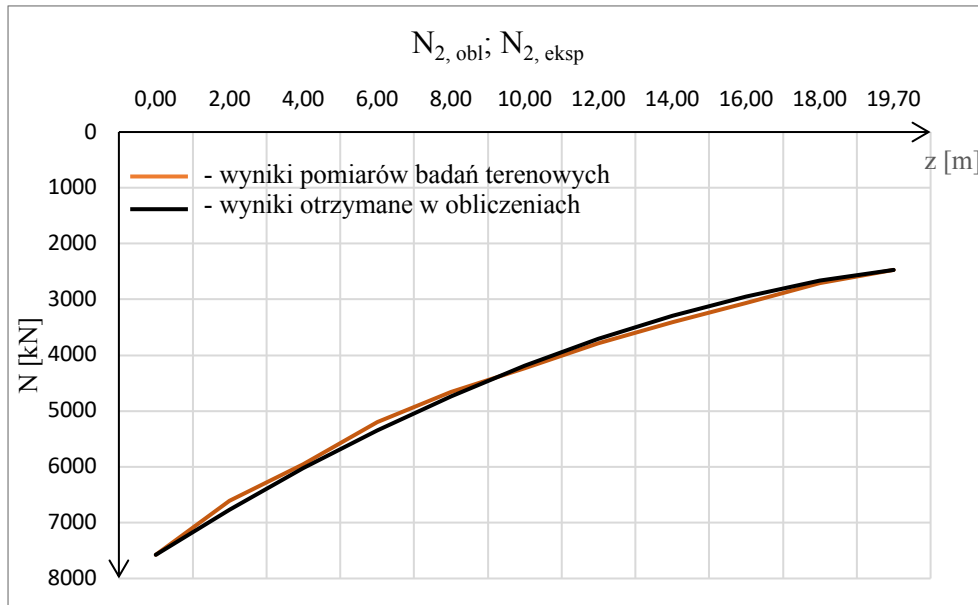


Załącznik 16a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 2;  $N_2 = 6658 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

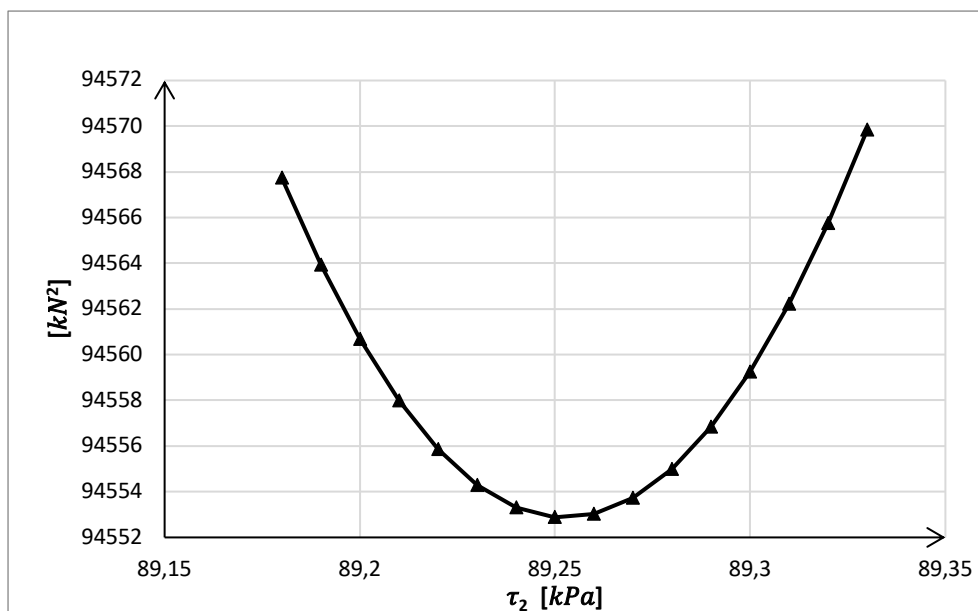


PAL 2;  $N_2 = 7756 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Załącznik 17 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 2;  $N_2 = 7756 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala



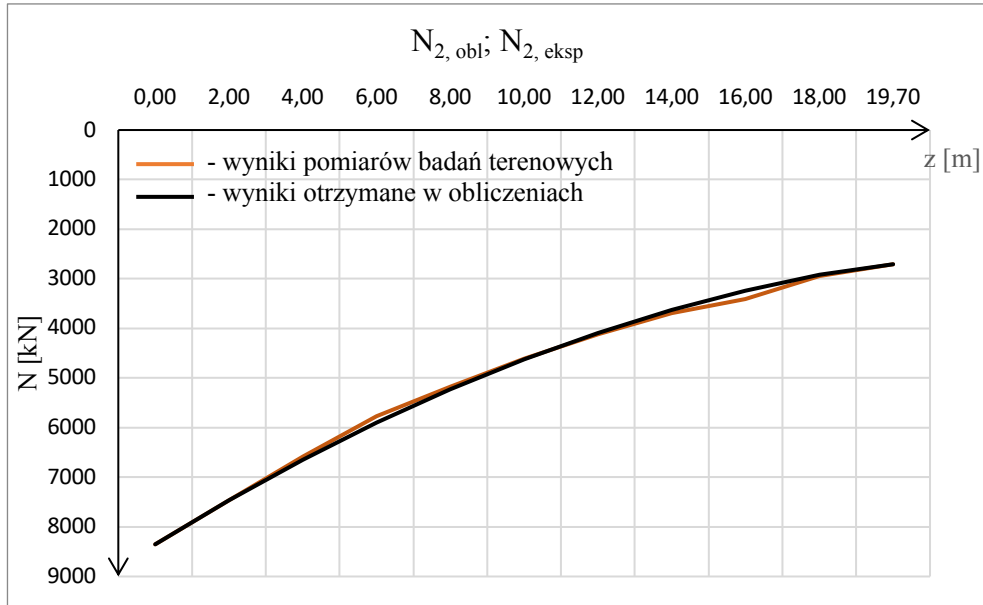
Załącznik 17a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 2;  $N_2 = 7756 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala



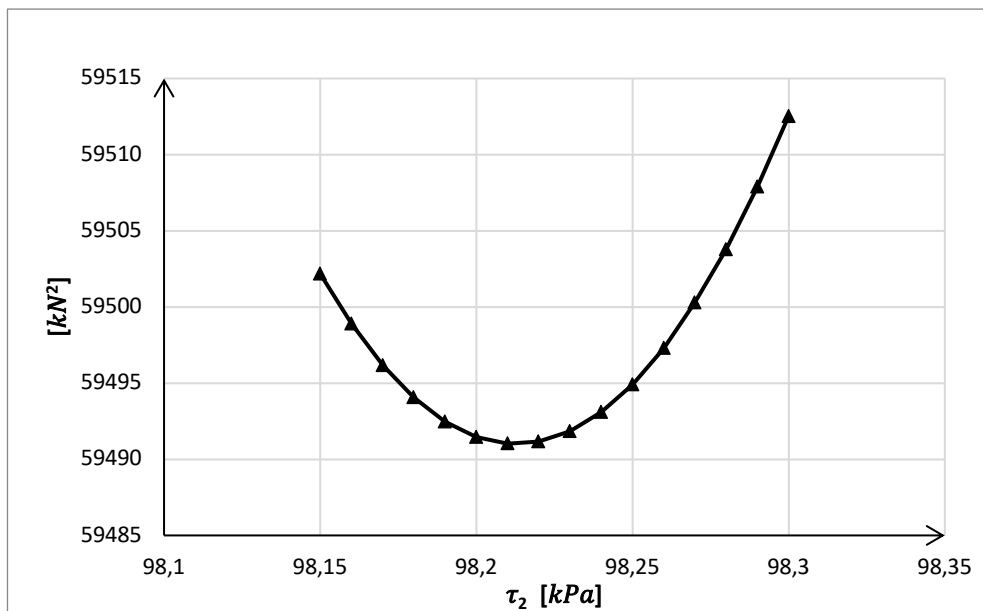


PAL 2;  $N_2 = 8352 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 18 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 2;  $N_2 = 8352 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

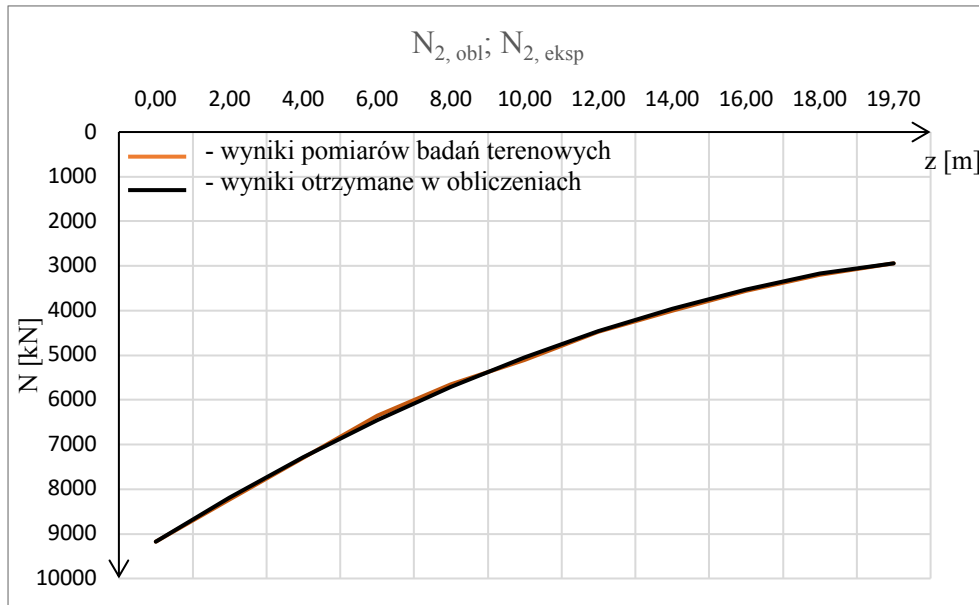


Zał. 18a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 2;  $N_2 = 8352 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

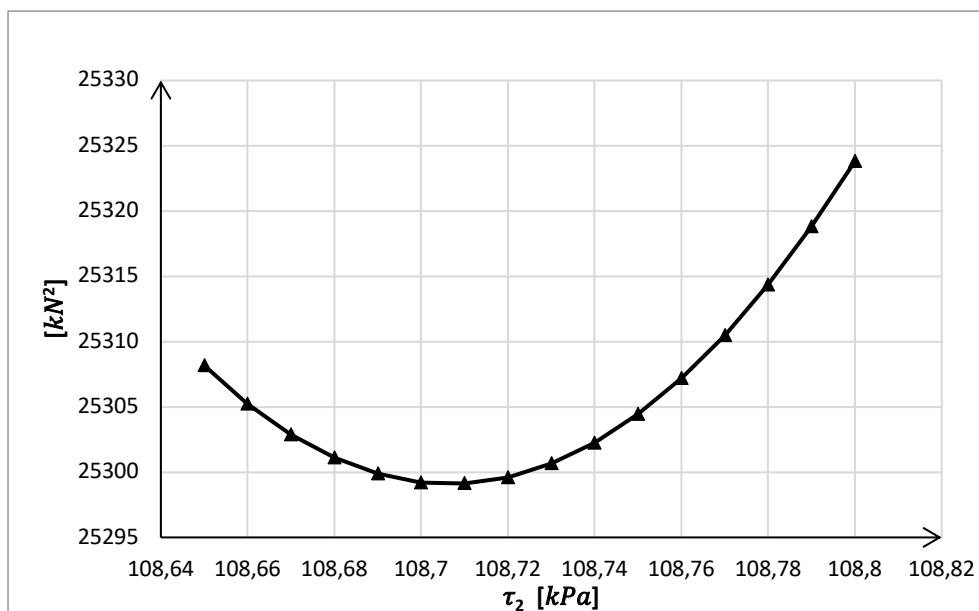


PAL 2;  $N_2 = 9176 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 19 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 2;  $N_2 = 9176 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

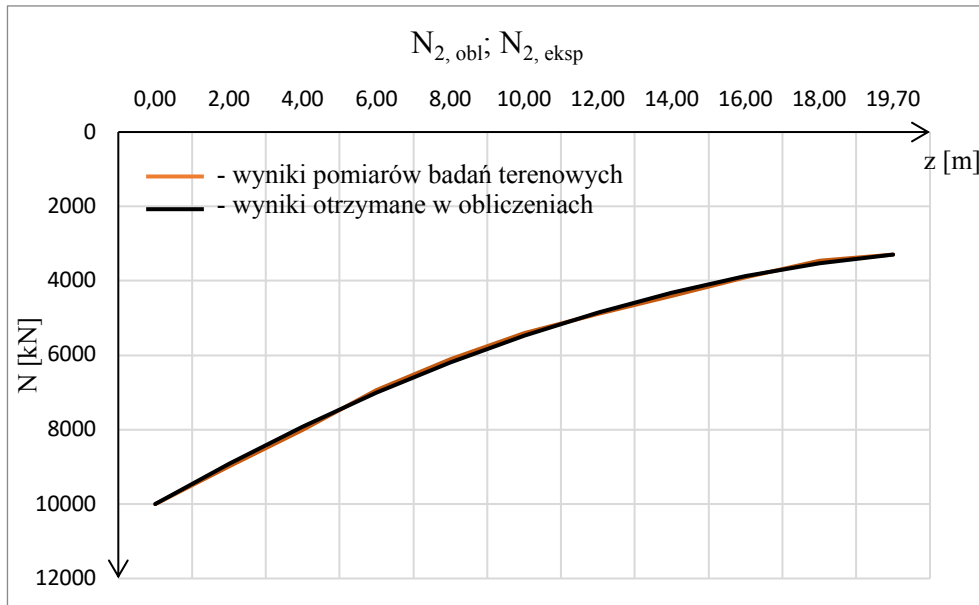


Zał. 19a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 2;  $N_2 = 9176 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

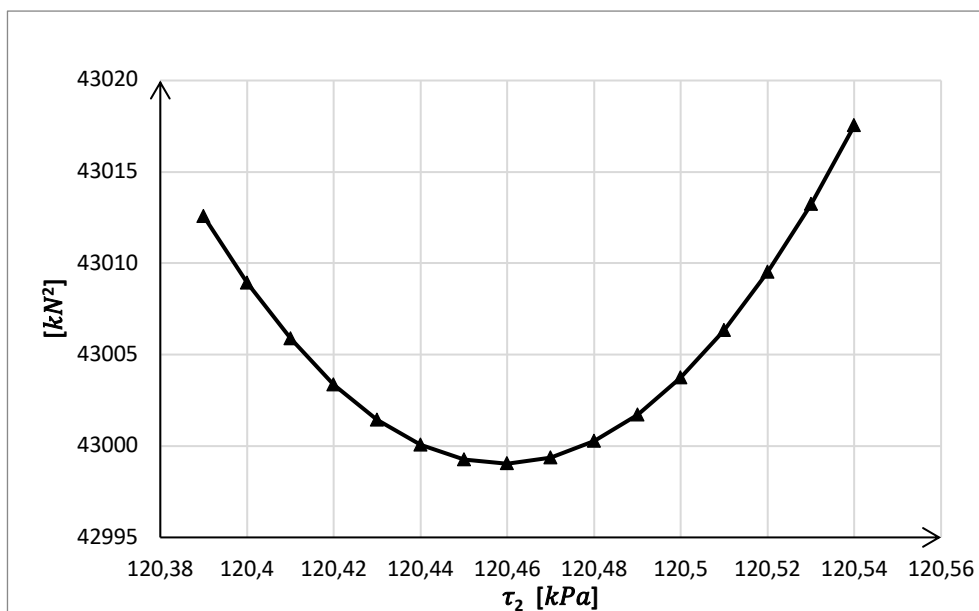


PAL 2;  $N_2 = 10000 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 20 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 2;  $N_2 = 10000 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

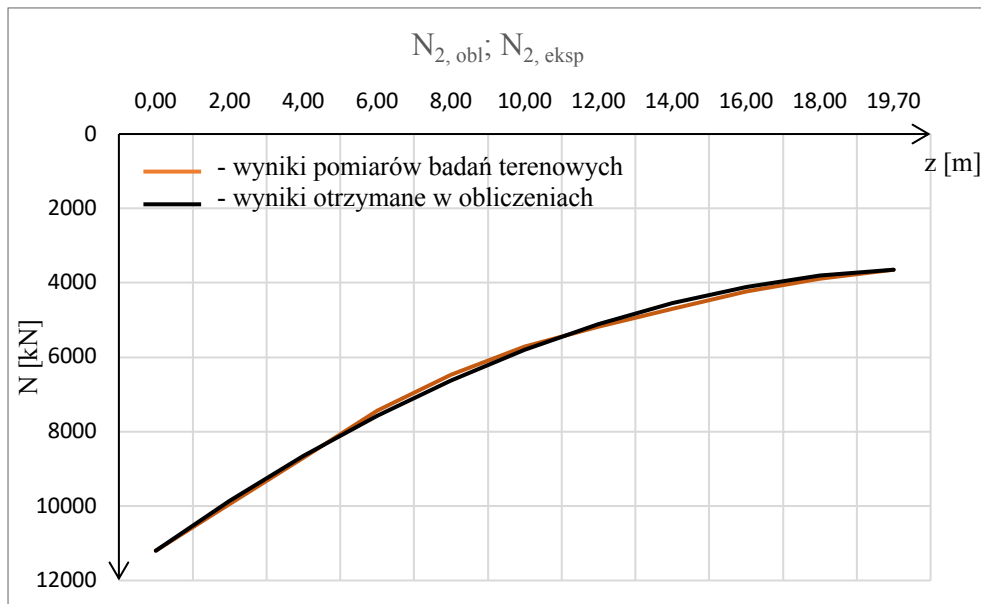


Zał. 20a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 2;  $N_2 = 10000 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

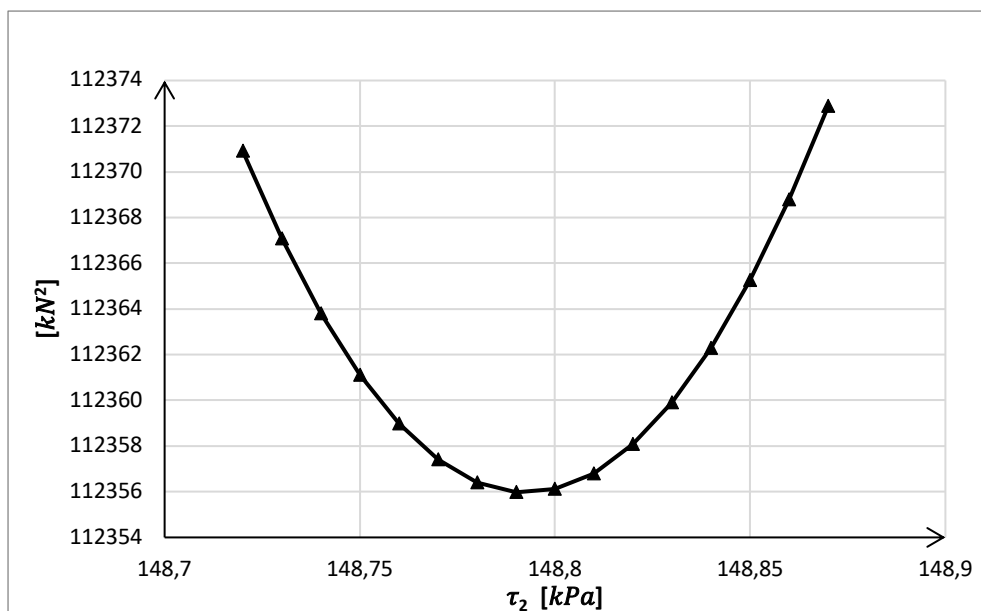


PAL 2;  $N_2 = 11200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Załącznik 21 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 2;  $N_2 = 11200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

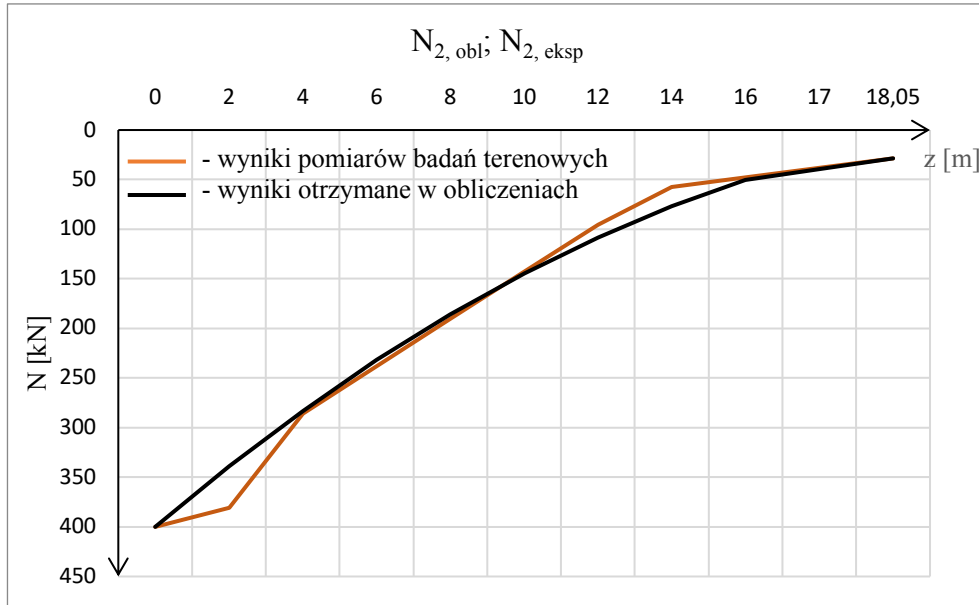


Załącznik 21a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 2;  $N_2 = 11200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

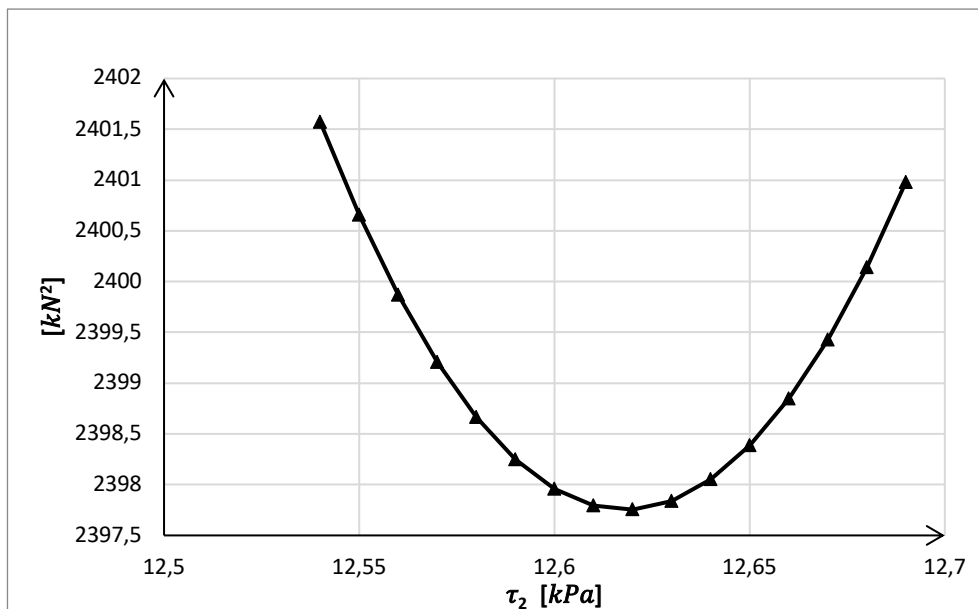


PAL 3;  $N_2 = 400 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 22 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 3;  $N_2 = 400 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

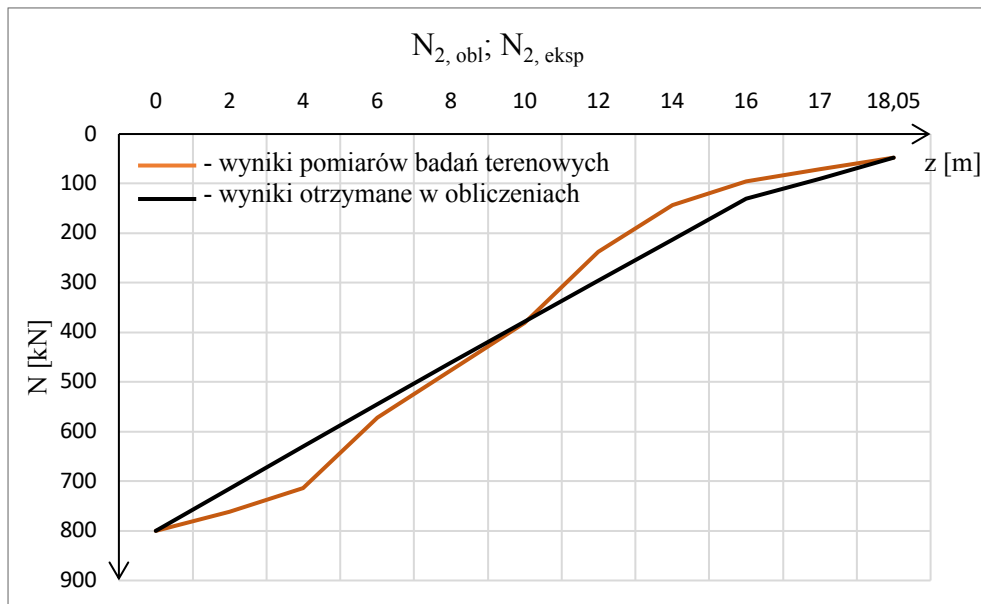


Zał. 22a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 3;  $N_2 = 400 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

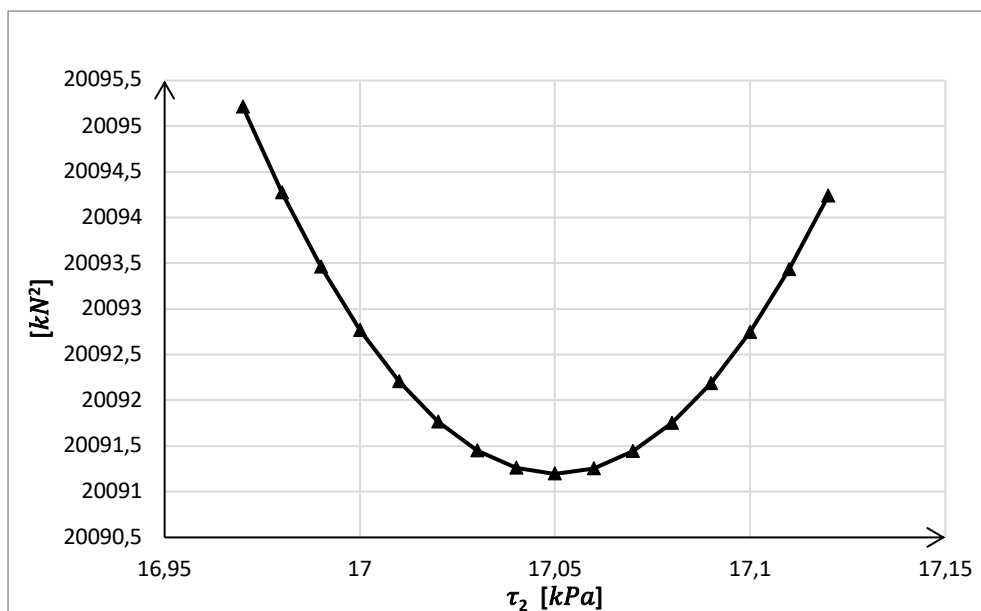


PAL 3;  $N_2 = 800 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 23 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 3;  $N_2 = 800 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

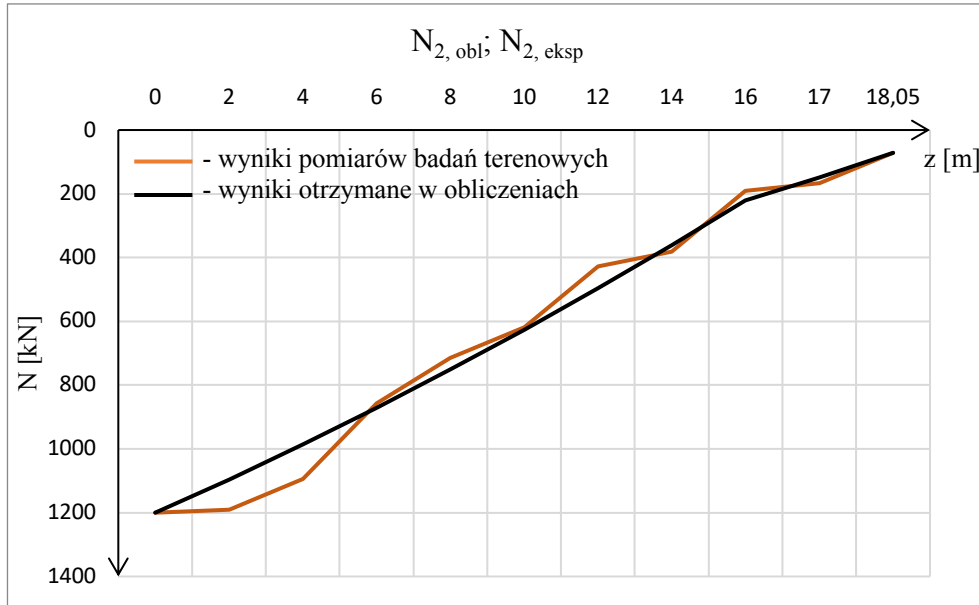


Zał. 23a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 3;  $N_2 = 800 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

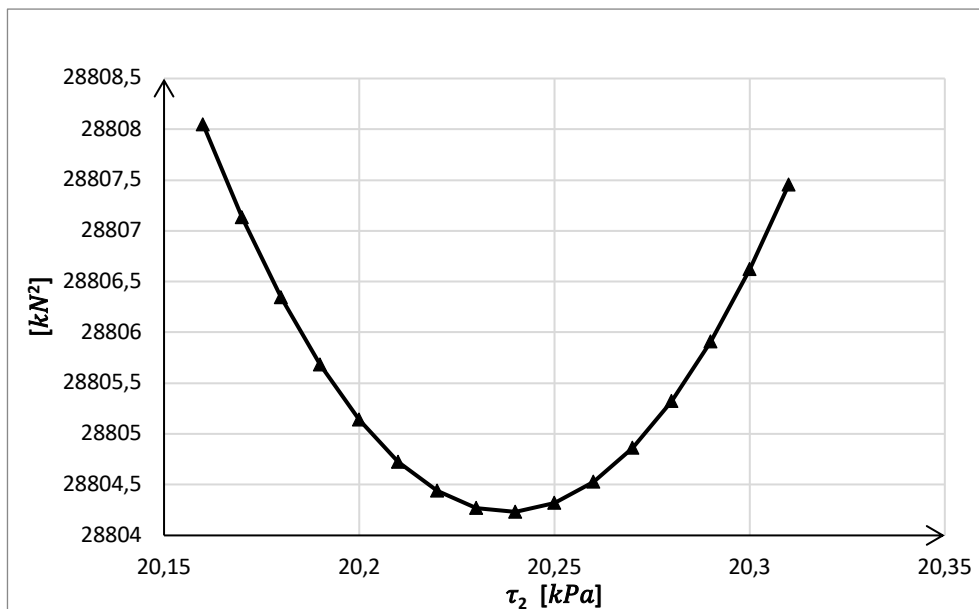


PAL 3;  $N_2 = 1200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 24 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 3;  $N_2 = 1200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

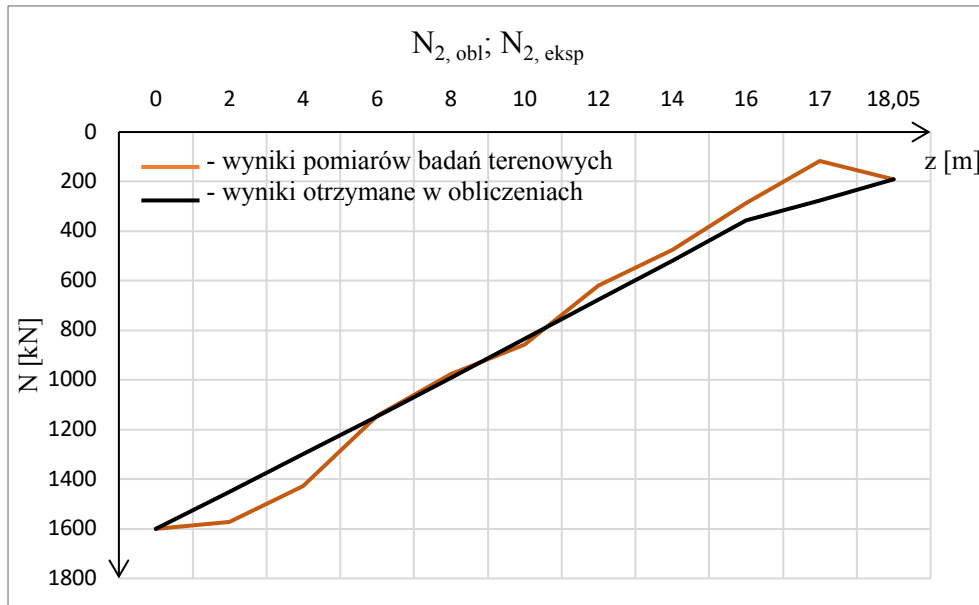


Zał. 24a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 3;  $N_2 = 1200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

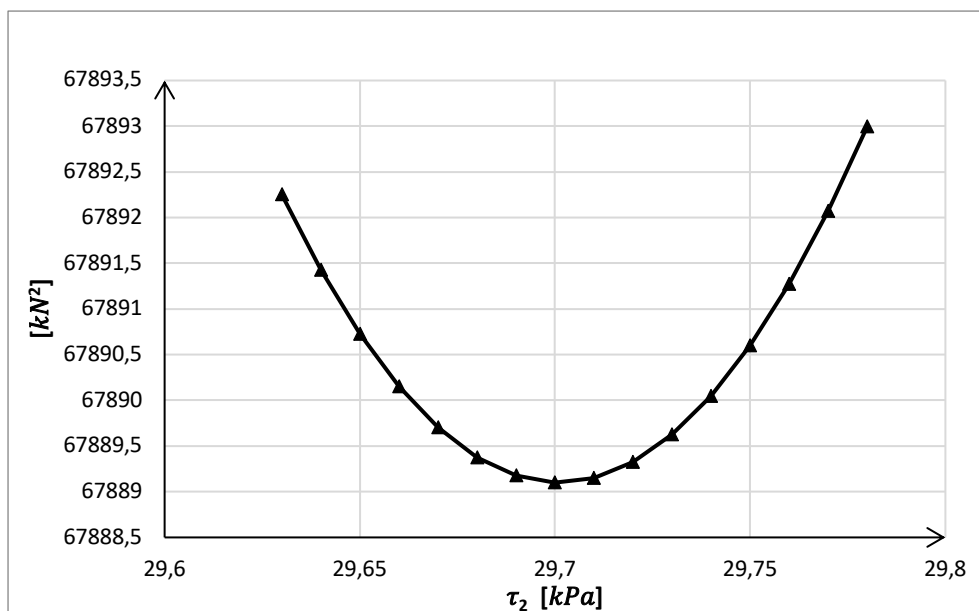


PAL 3;  $N_2 = 1600 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 25 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 3;  $N_2 = 1600 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała



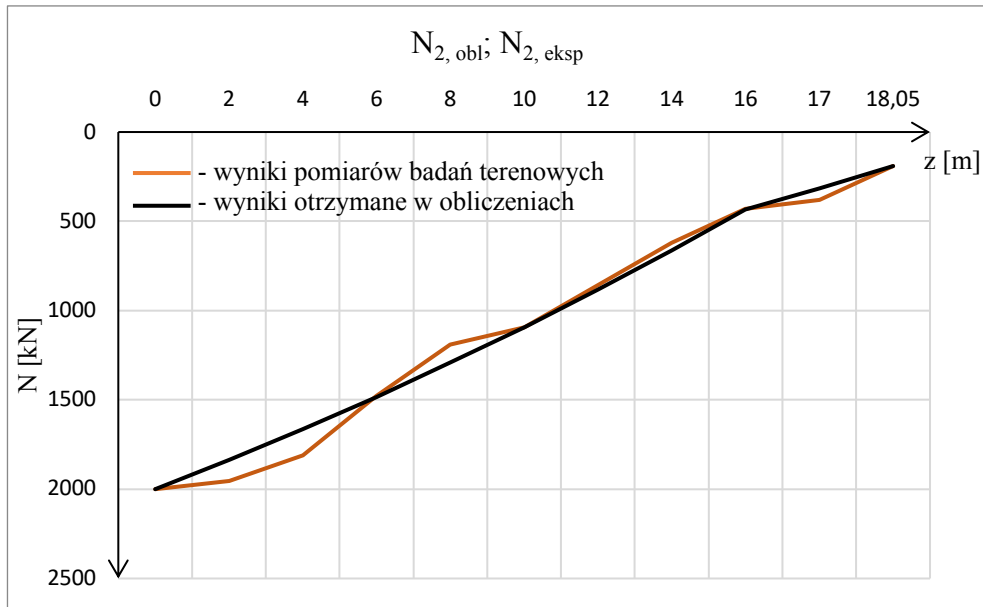
Zał. 25a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 3;  $N_2 = 1600 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała



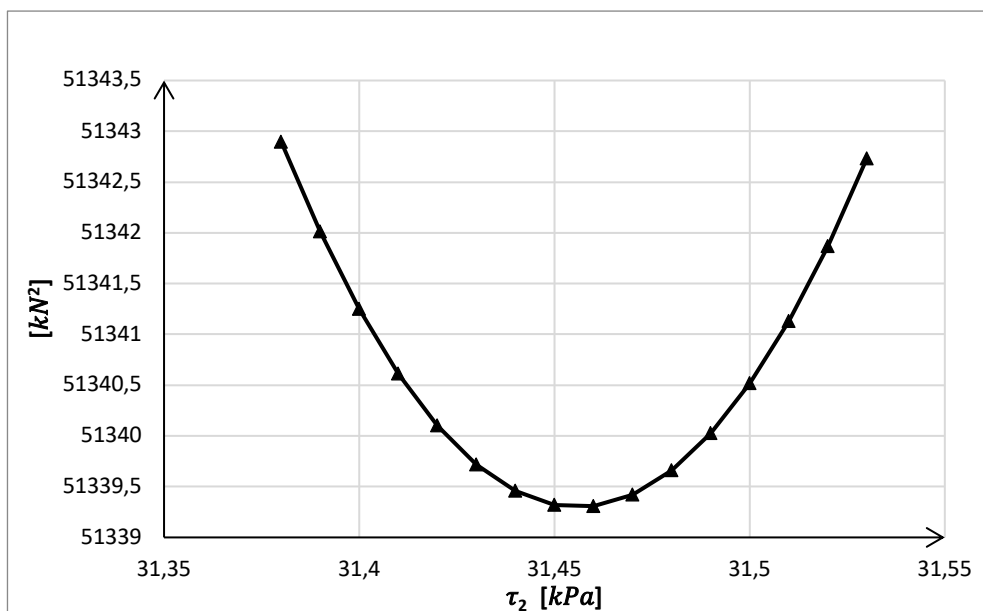


PAL 3;  $N_2 = 2000 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 26 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 3;  $N_2 = 2000 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

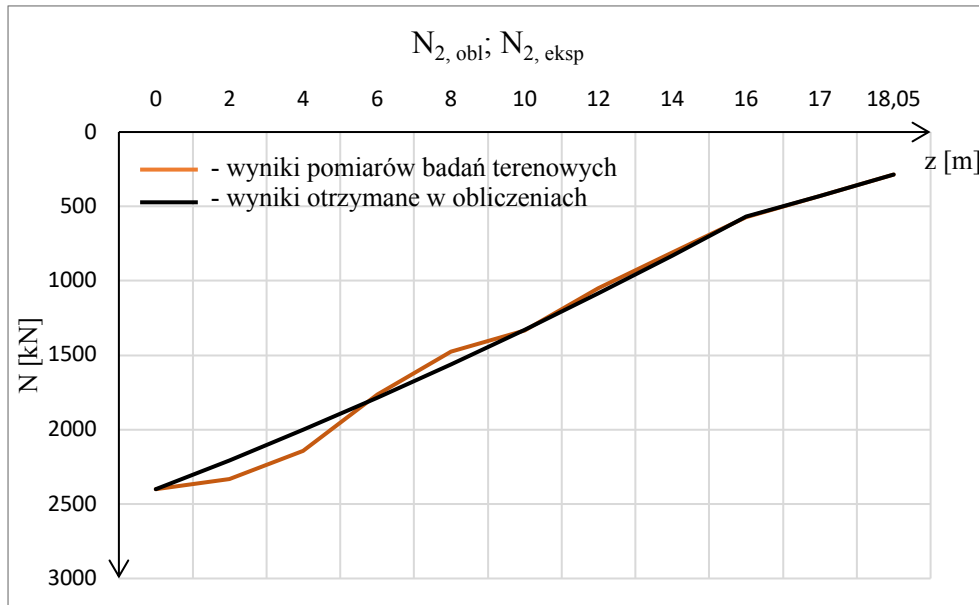


Zał. 26a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 3;  $N_2 = 2000 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

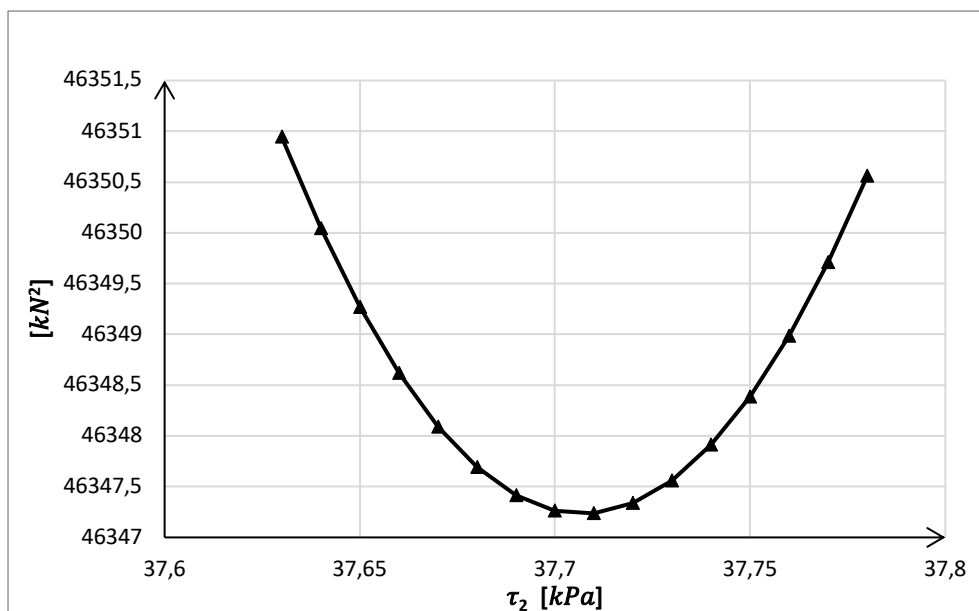


PAL 3;  $N_2 = 2400 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 27 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 3;  $N_2 = 2400 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

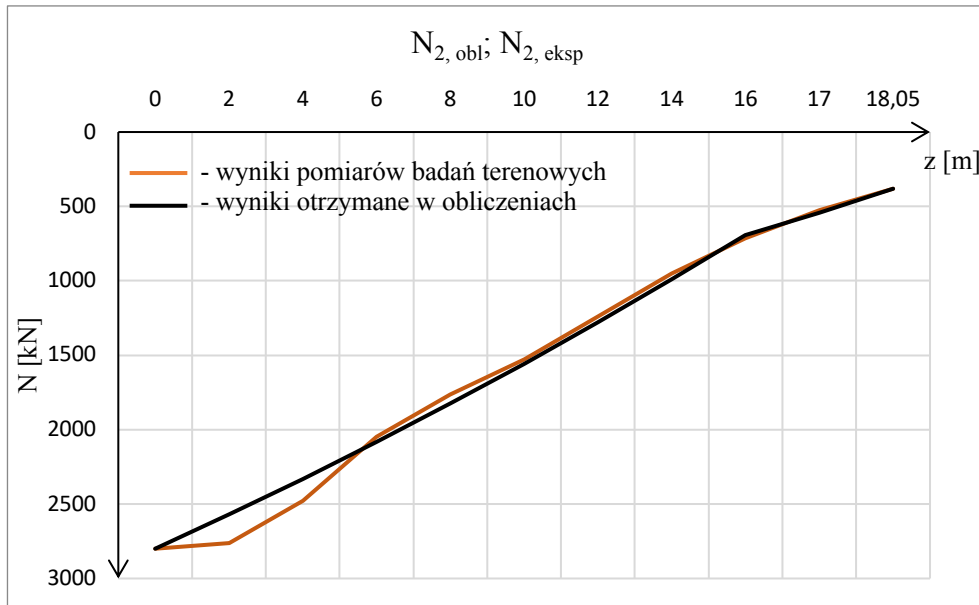


Zał. 27a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 3;  $N_2 = 2400 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

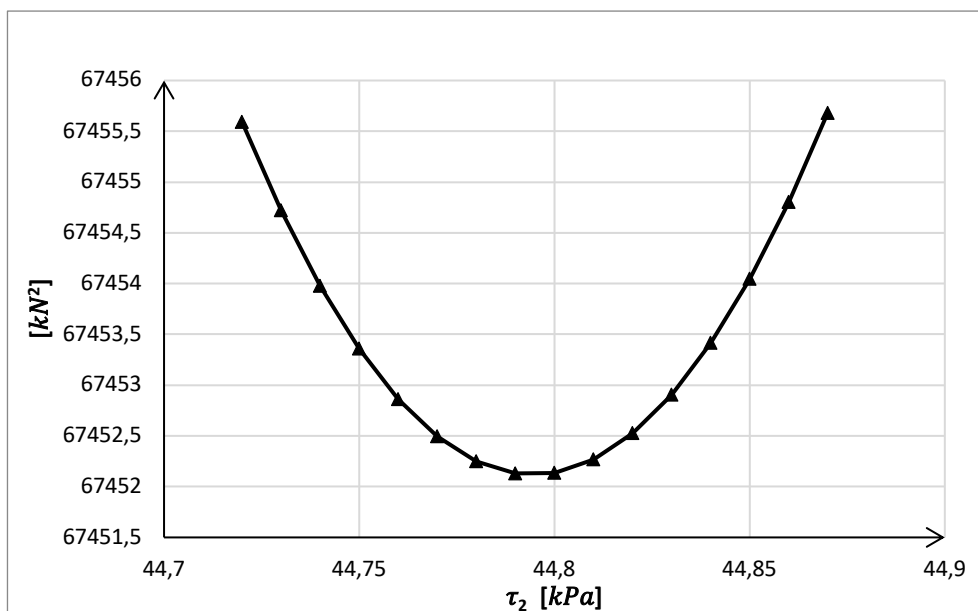


PAL 3;  $N_2 = 2800 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 28 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 3;  $N_2 = 2800 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

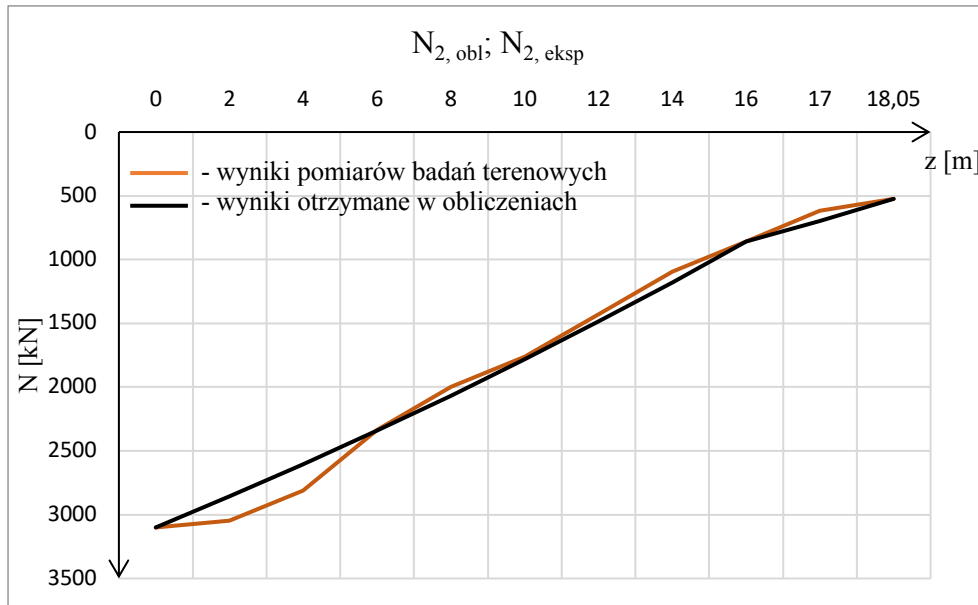


Zał. 28a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 3;  $N_2 = 2800 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

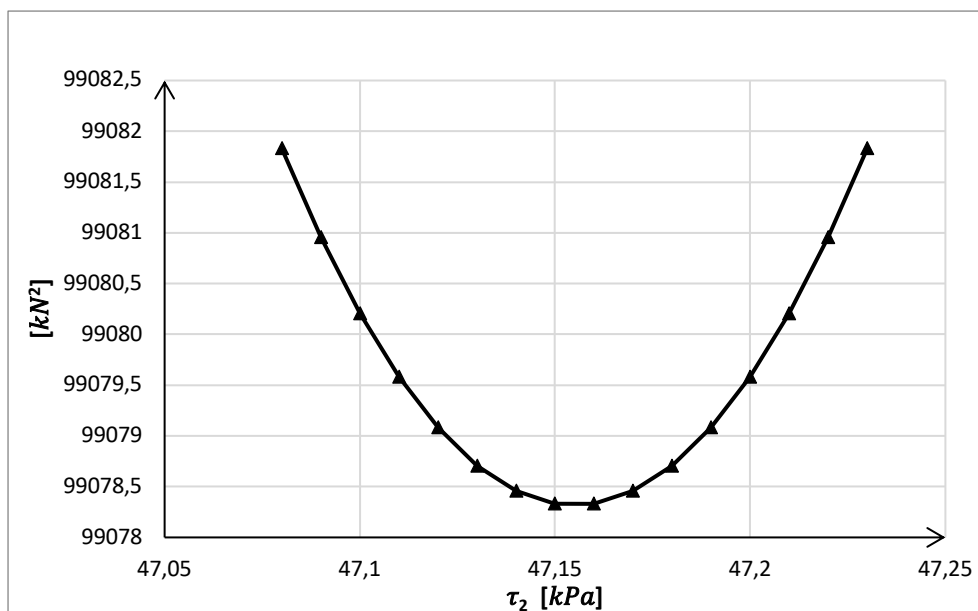


PAL 3;  $N_2 = 3100 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Załącznik 29 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 3;  $N_2 = 3100 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

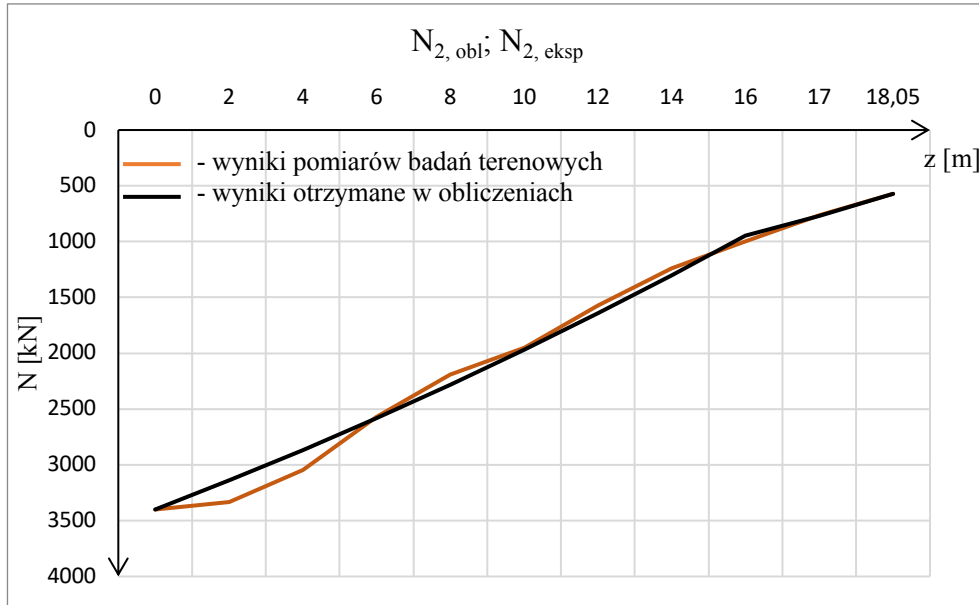


Załącznik 29a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 3;  $N_2 = 3100 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

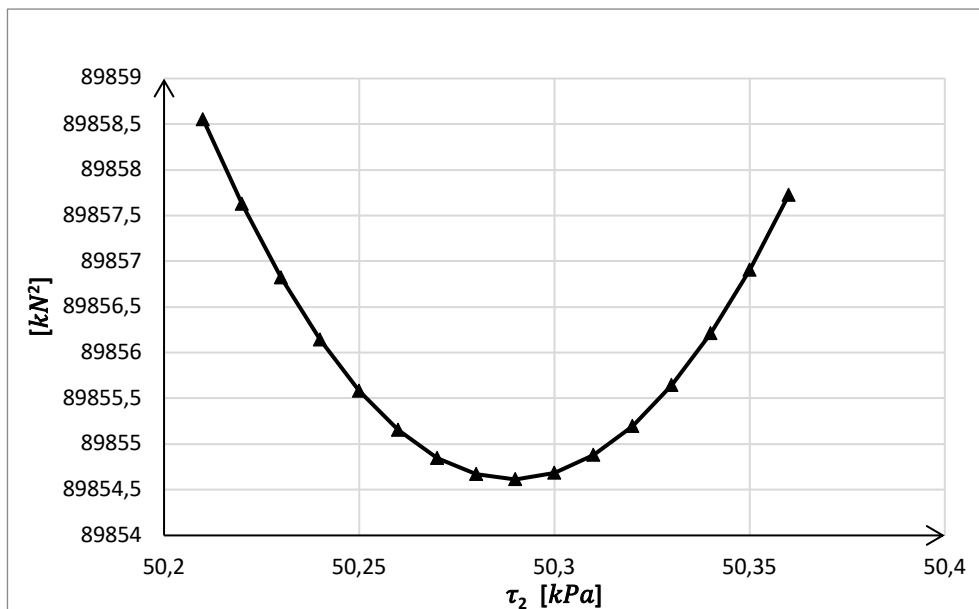


PAL 3;  $N_2 = 3400 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 30 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 3;  $N_2 = 3400 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

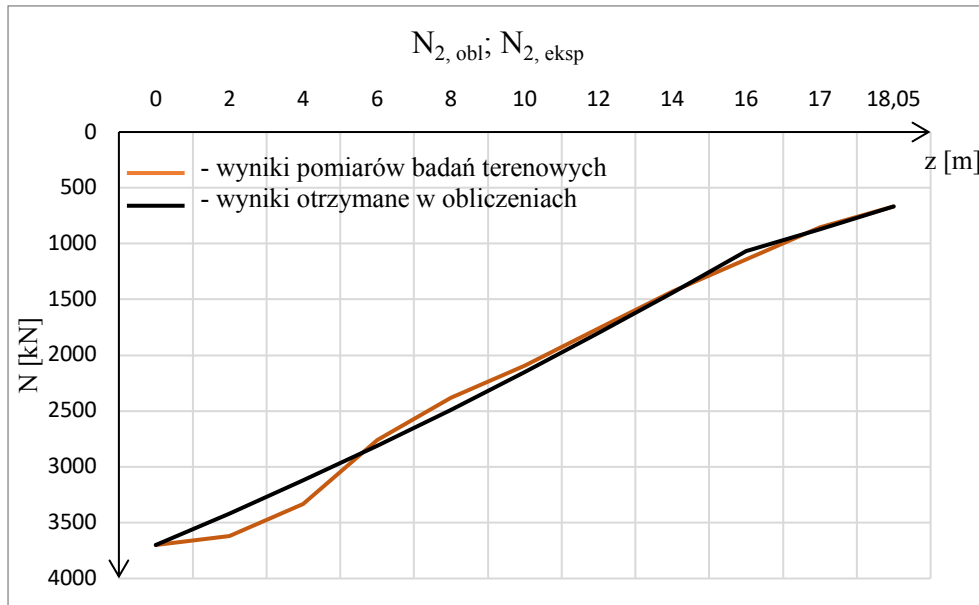


Zał. 30a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 3;  $N_2 = 3400 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

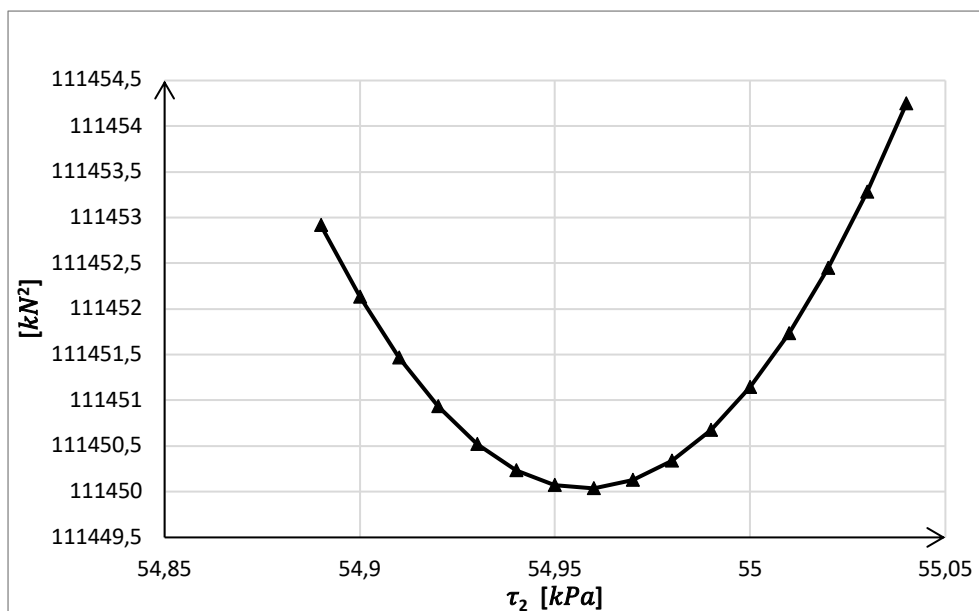


PAL 3;  $N_2 = 3700 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 31 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 3;  $N_2 = 3700 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

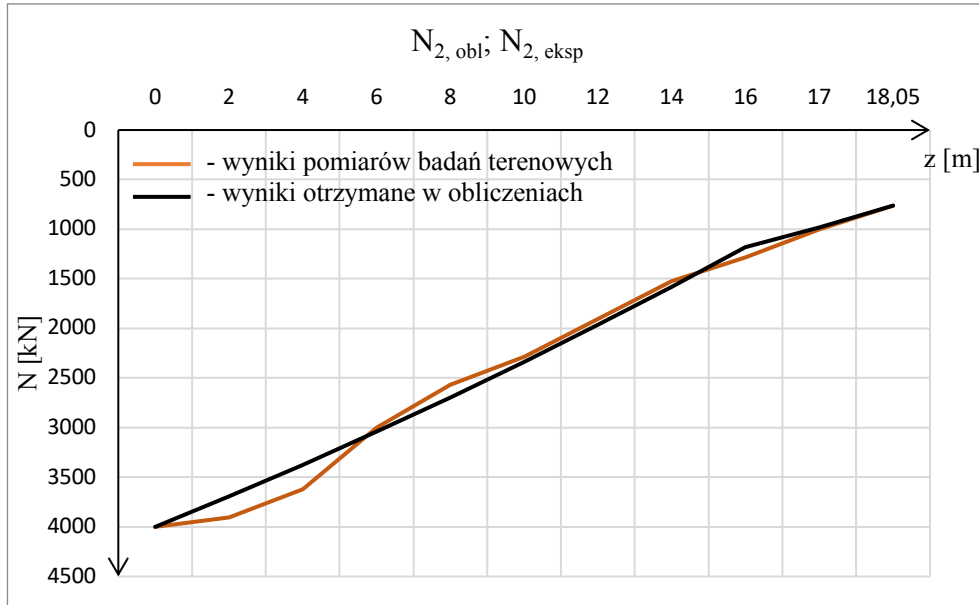


Zał. 31a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 3;  $N_2 = 3700 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

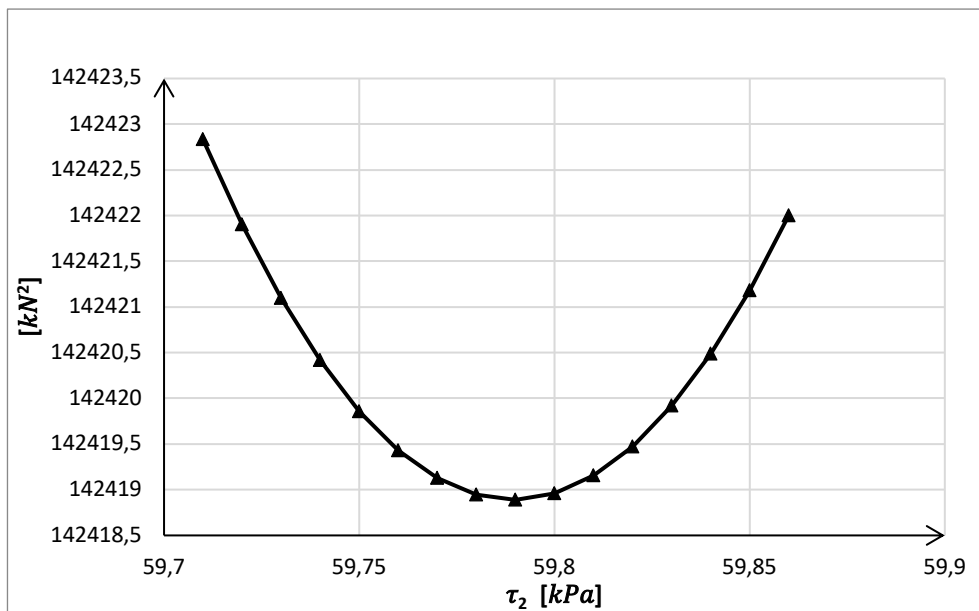


PAL 3;  $N_2 = 4000 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Załącznik 32 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 3;  $N_2 = 4000 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

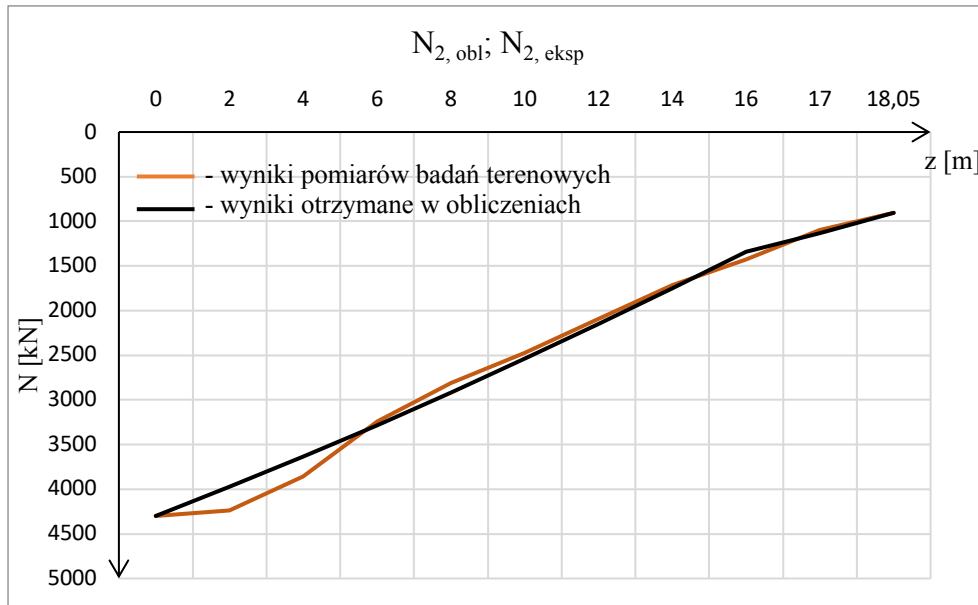


Załącznik 32a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 3;  $N_2 = 4000 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

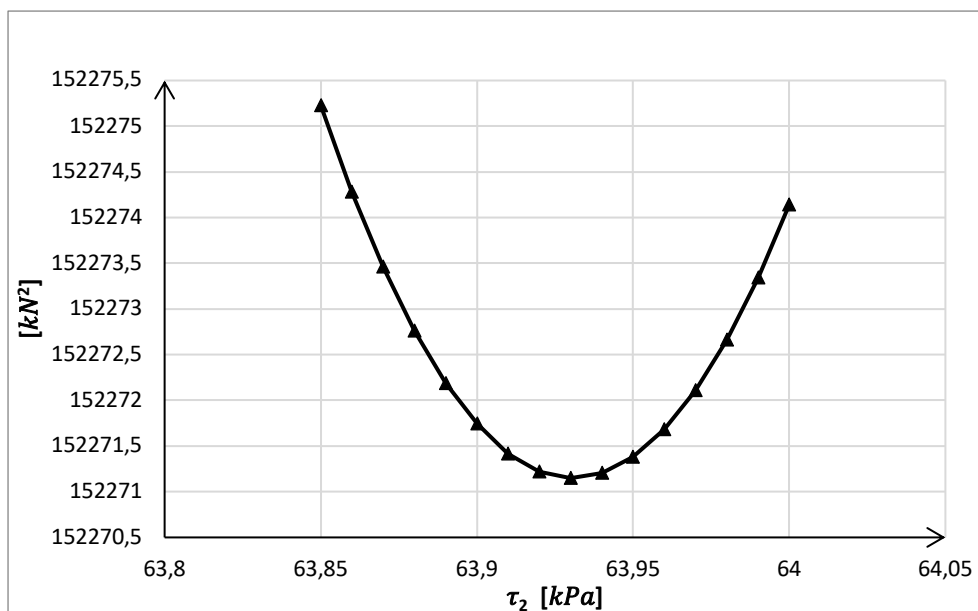


PAL 3;  $N_2 = 4300 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 33 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 3;  $N_2 = 4300 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała



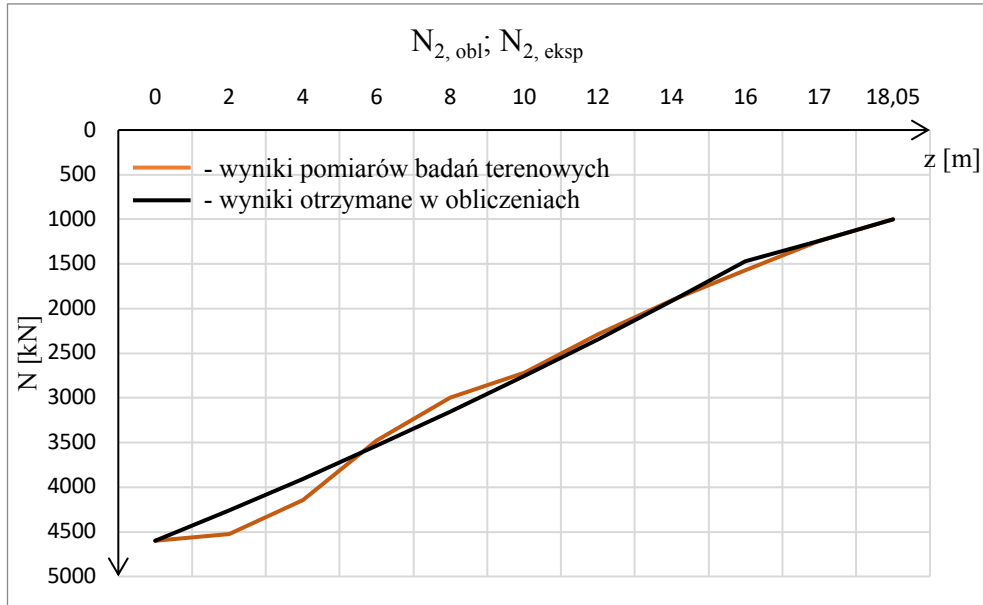
Zał. 33a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 3;  $N_2 = 4300 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała



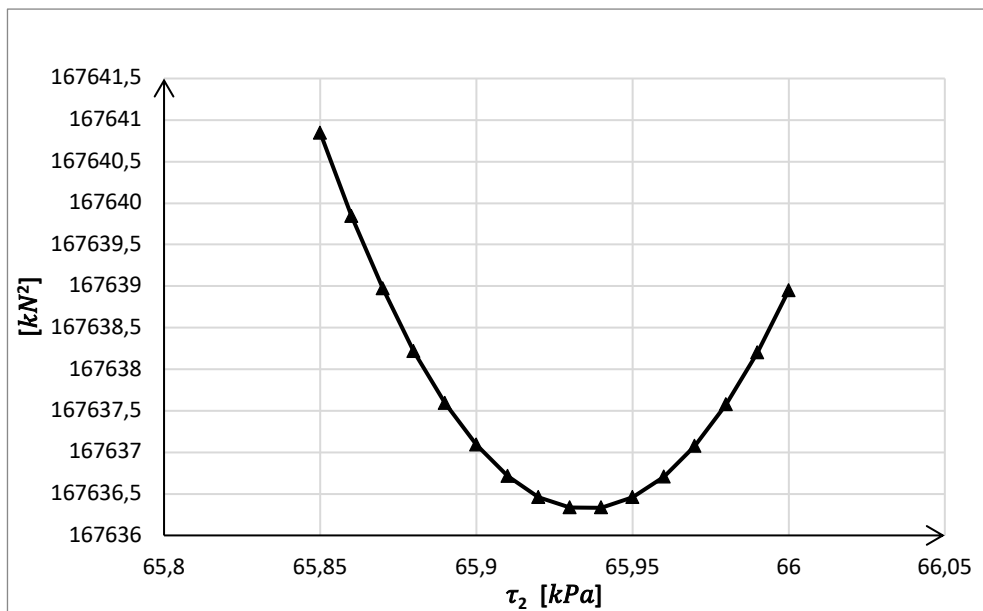


PAL 3;  $N_2 = 4600 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 34 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 3;  $N_2 = 4600 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

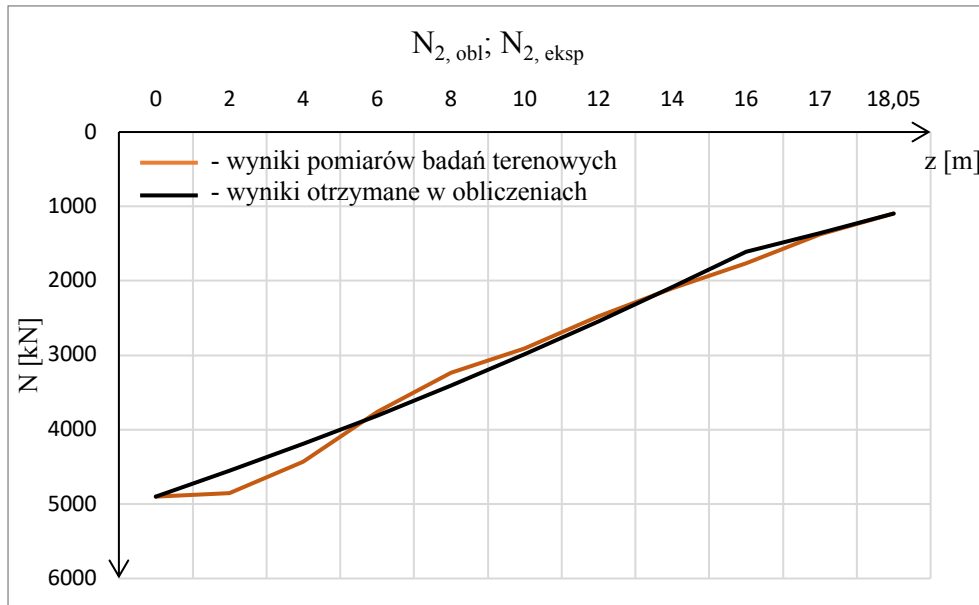


Zał. 34a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 3;  $N_2 = 4600 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

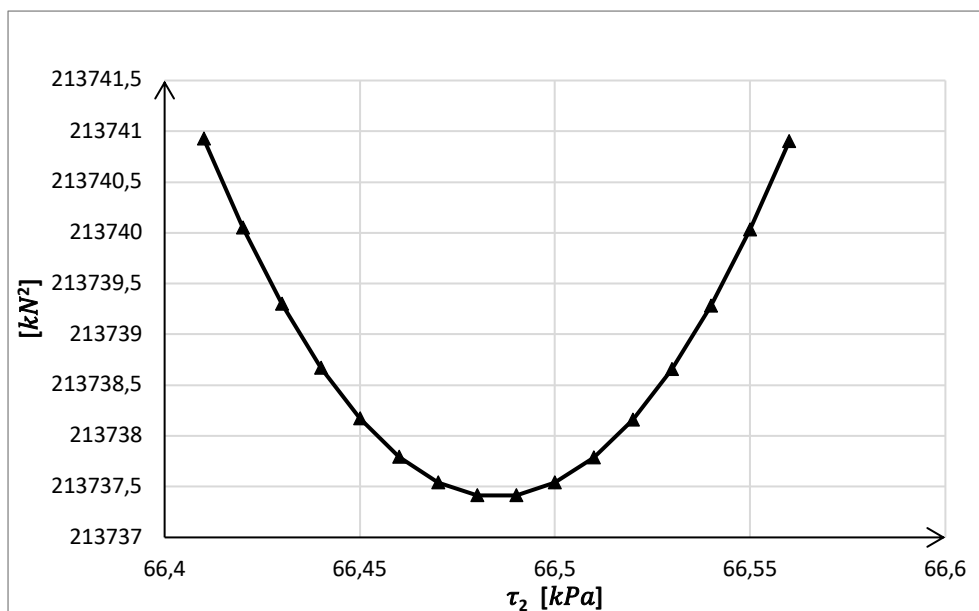


PAL 3;  $N_2 = 4900 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 35 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 3;  $N_2 = 4900 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

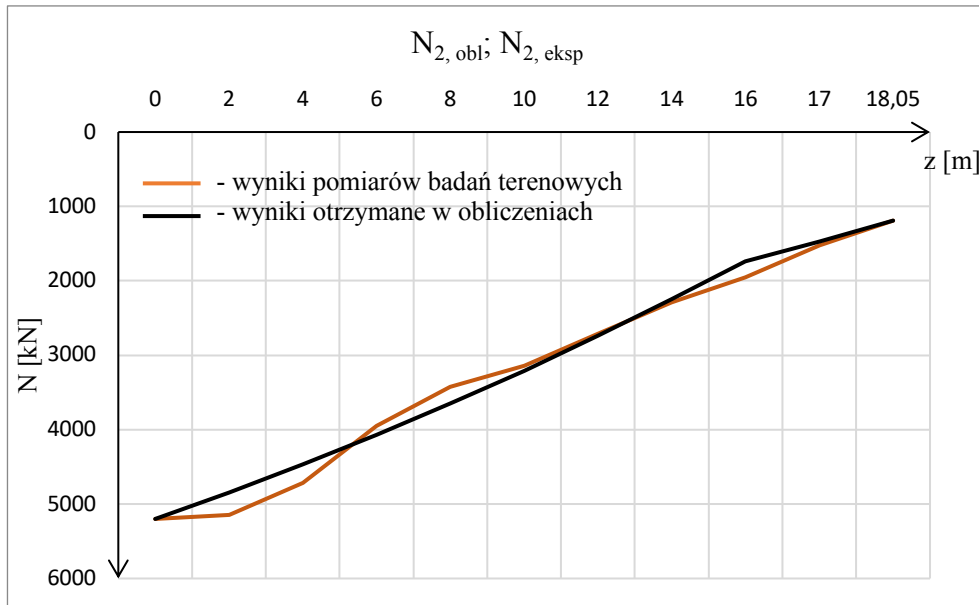


Zał. 35a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 3;  $N_2 = 4900 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

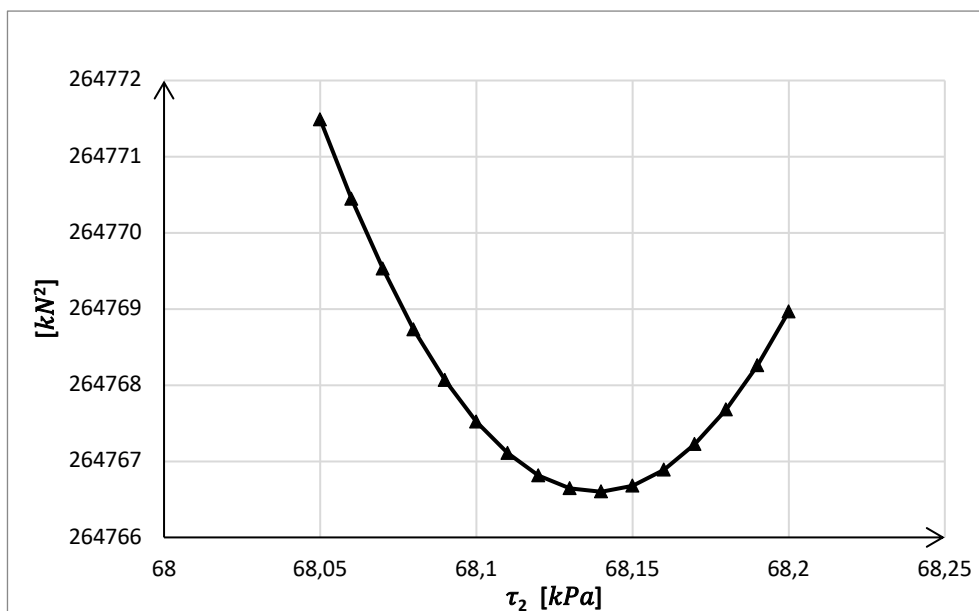


PAL 3;  $N_2 = 5200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Załącznik 36 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 3;  $N_2 = 5200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

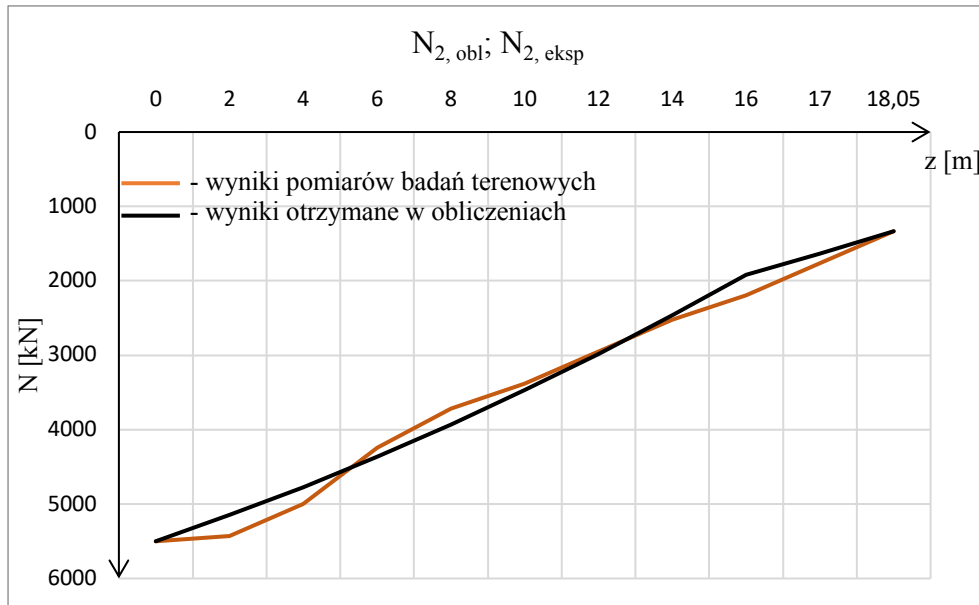


Załącznik 36a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 3;  $N_2 = 5200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

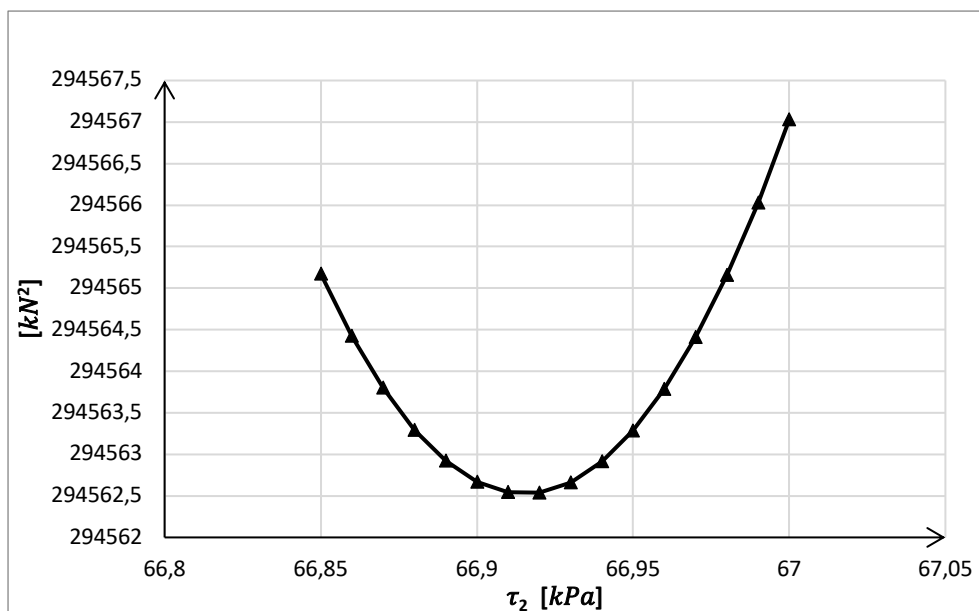


PAL 3;  $N_2 = 5500 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 37 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 3;  $N_2 = 5500 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

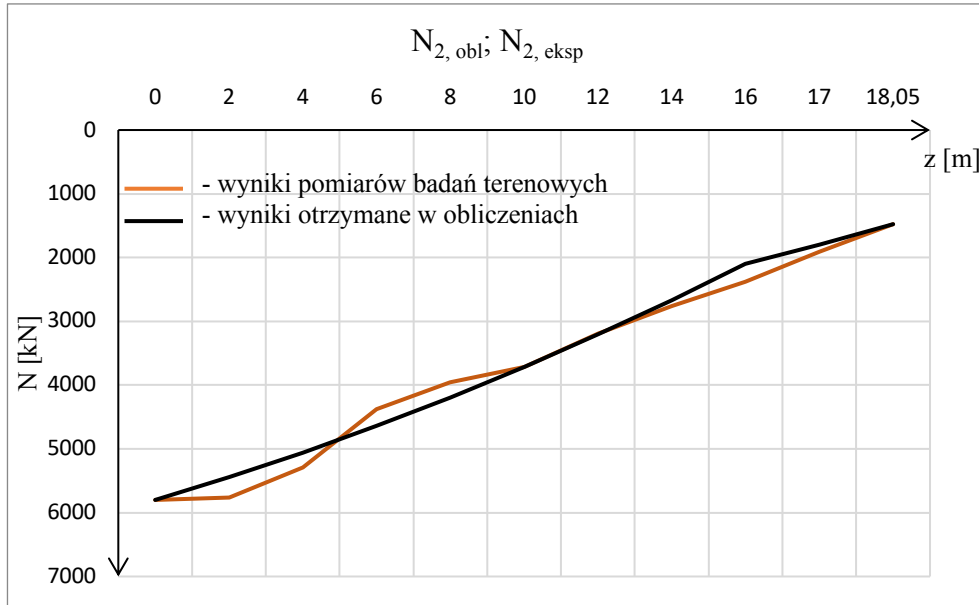


Zał. 37a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 3;  $N_2 = 5500 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

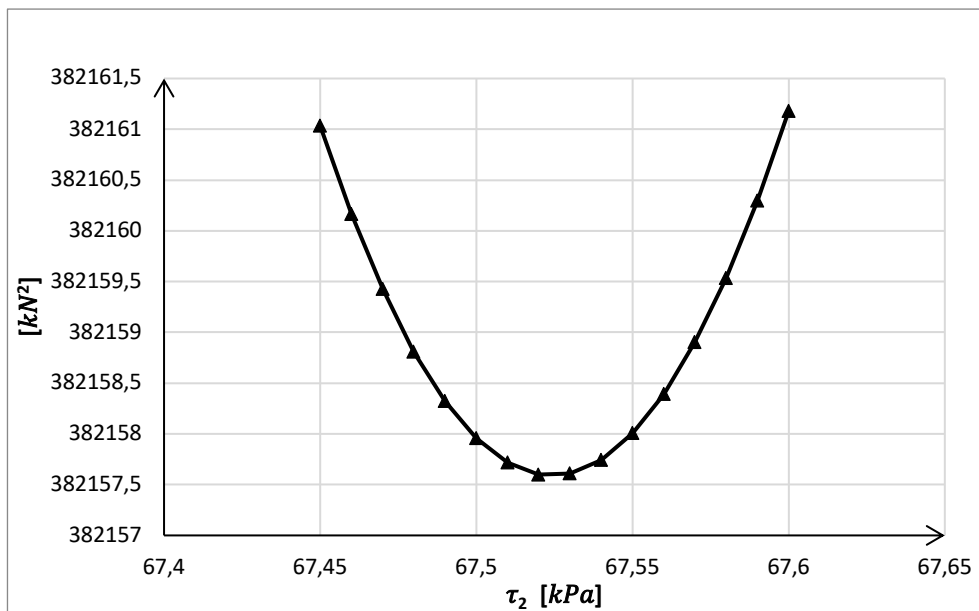


PAL 3;  $N_2 = 5800 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 38 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 3;  $N_2 = 5800 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

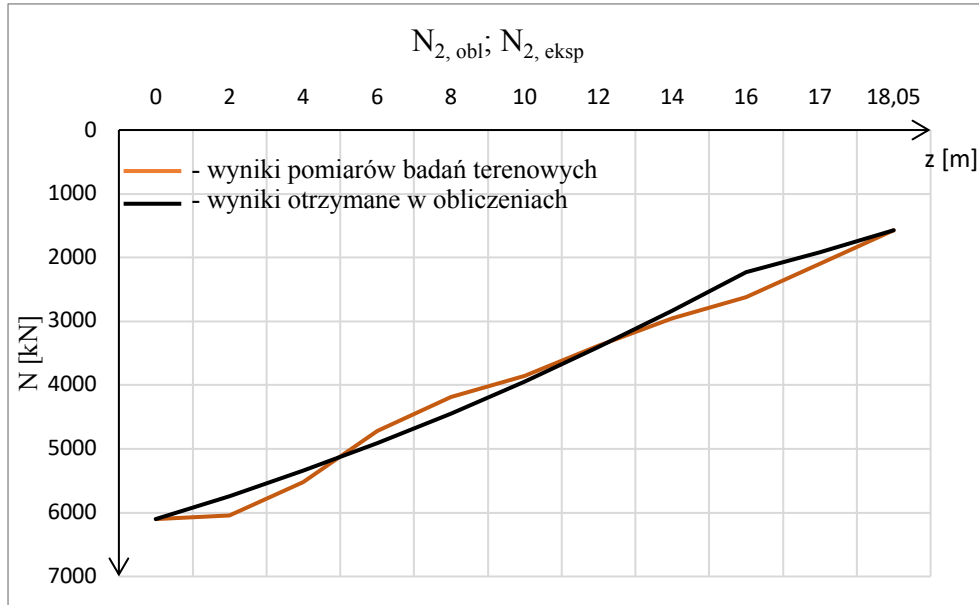


Zał. 38a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 3;  $N_2 = 5800 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

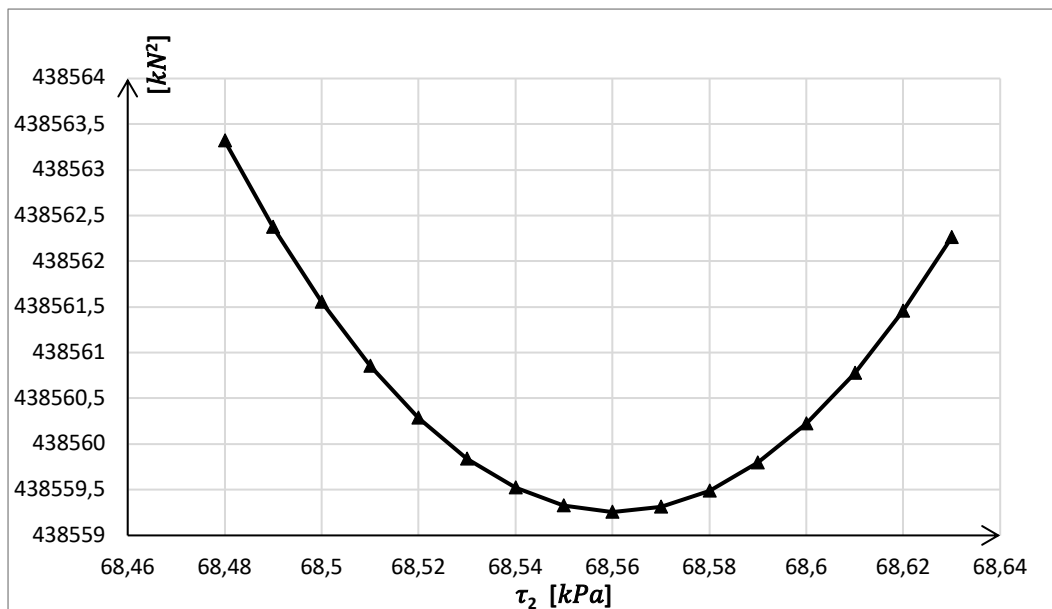


PAL 3;  $N_2 = 6100 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 39 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 3;  $N_2 = 6100 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

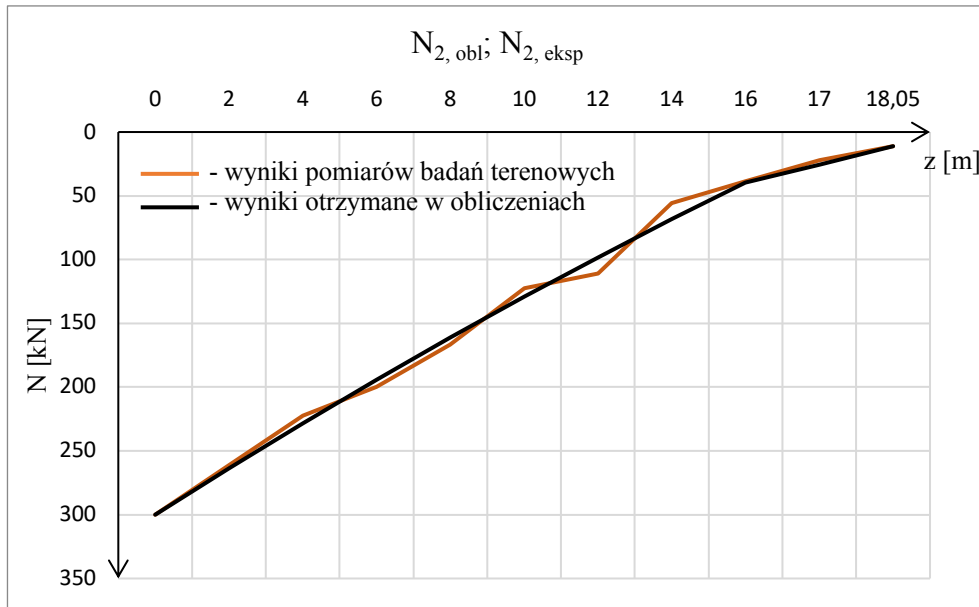


Zał. 39a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 3;  $N_2 = 6100 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

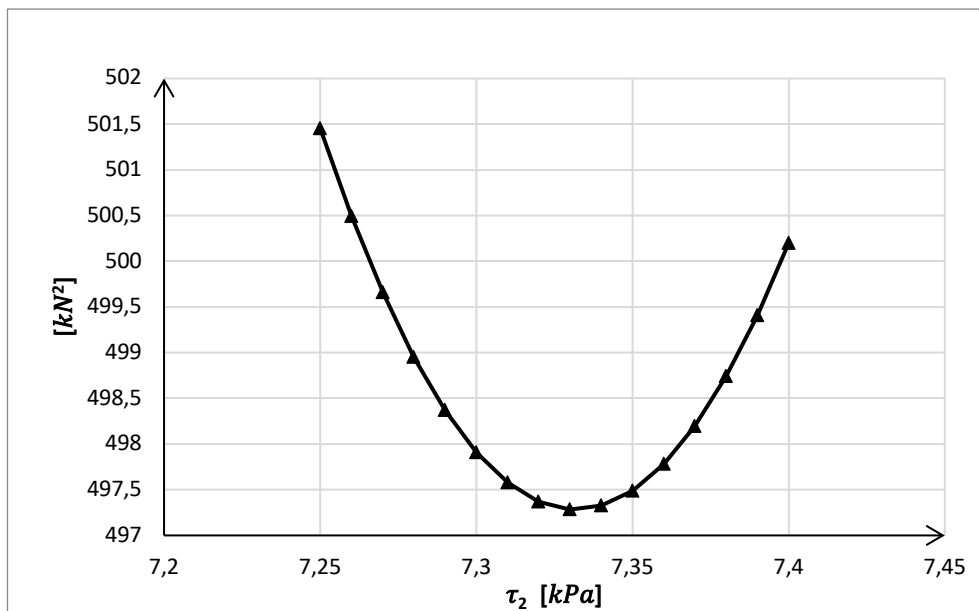


PAL 4;  $N_2 = 300 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 40 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 4;  $N_2 = 300 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

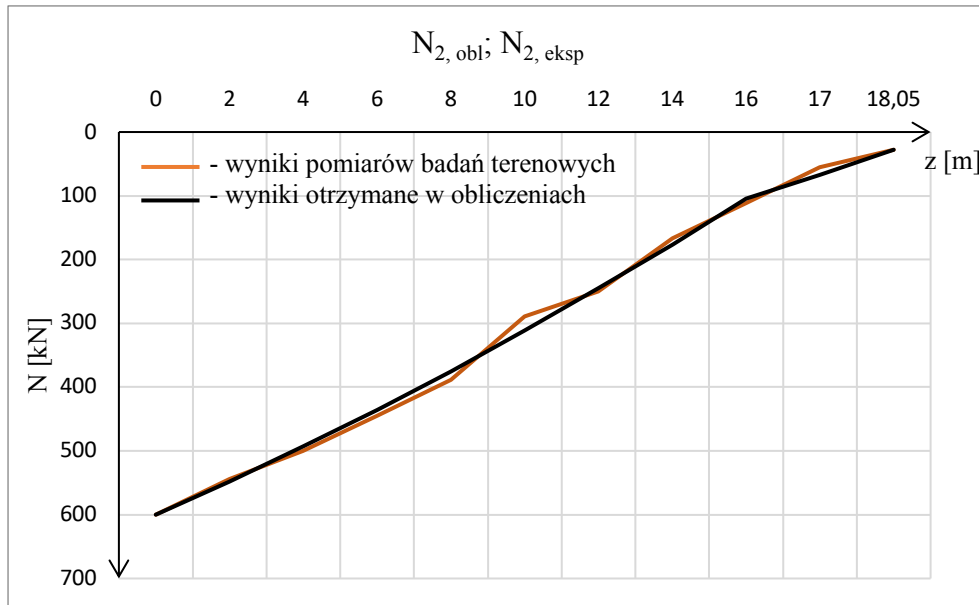


Zał. 40a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 4;  $N_2 = 300 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

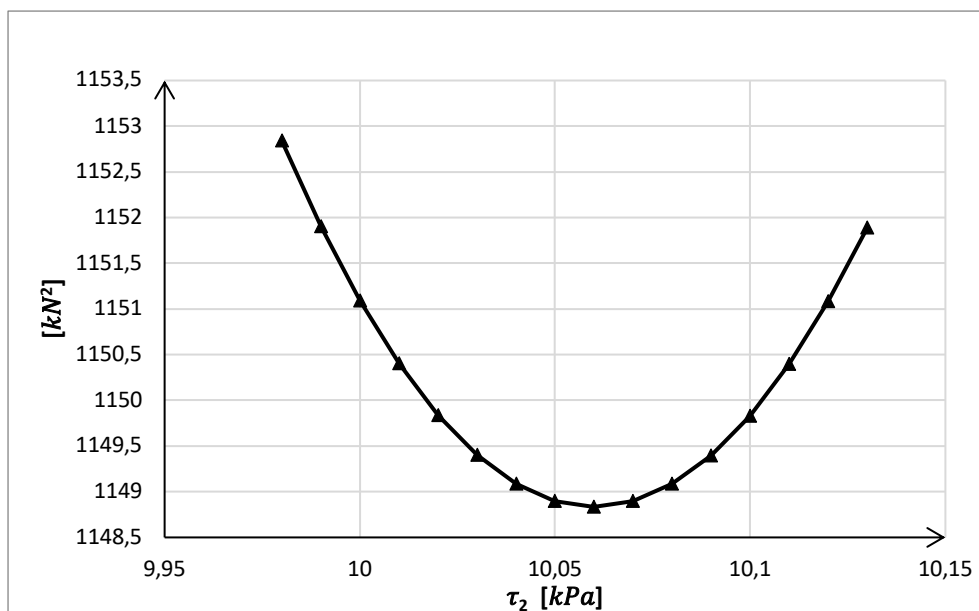


PAL 4;  $N_2 = 600 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 41 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 4;  $N_2 = 600 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala



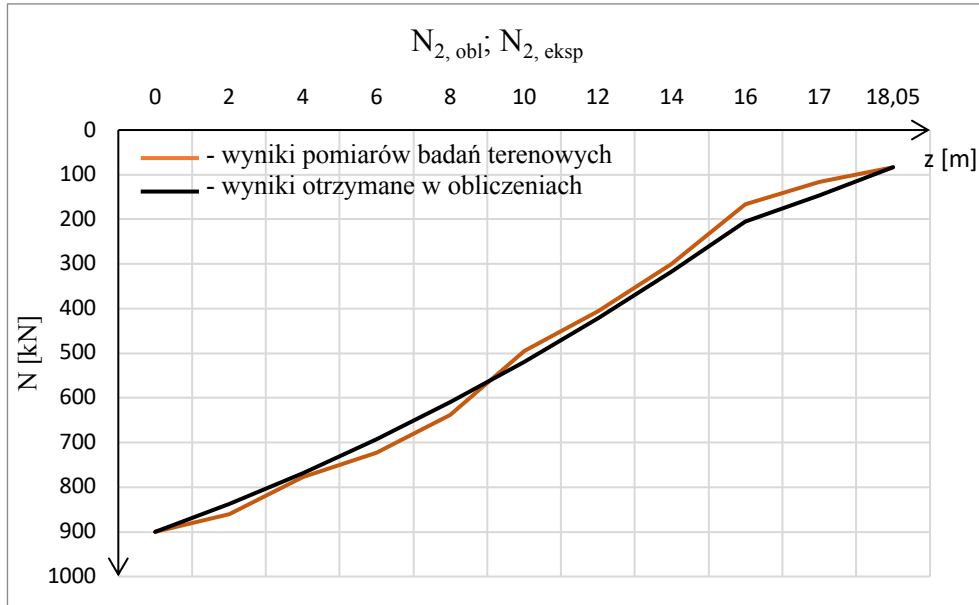
Zał. 41a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 4;  $N_2 = 600 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala



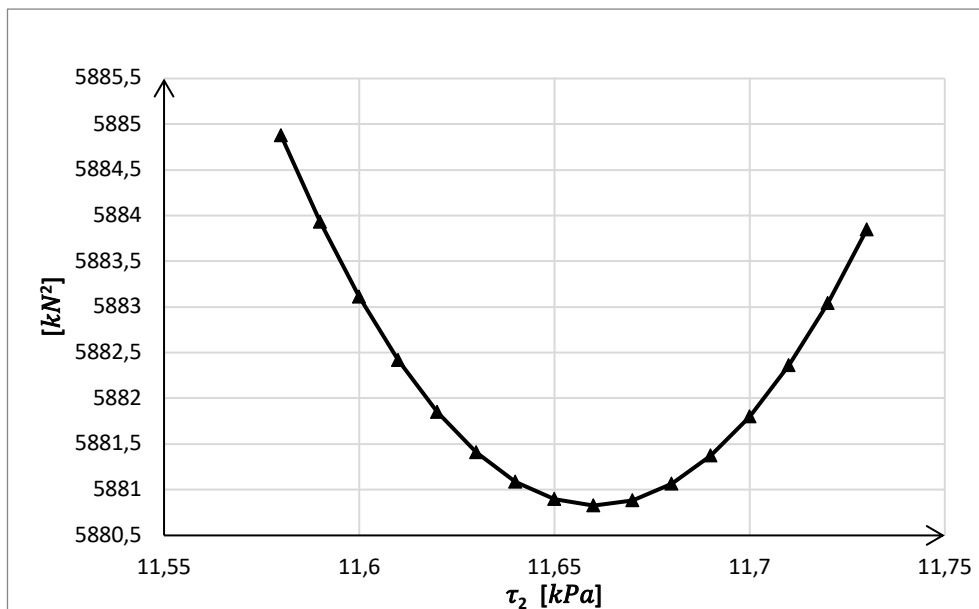


PAL 4;  $N_2 = 900 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 42 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 4;  $N_2 = 900 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

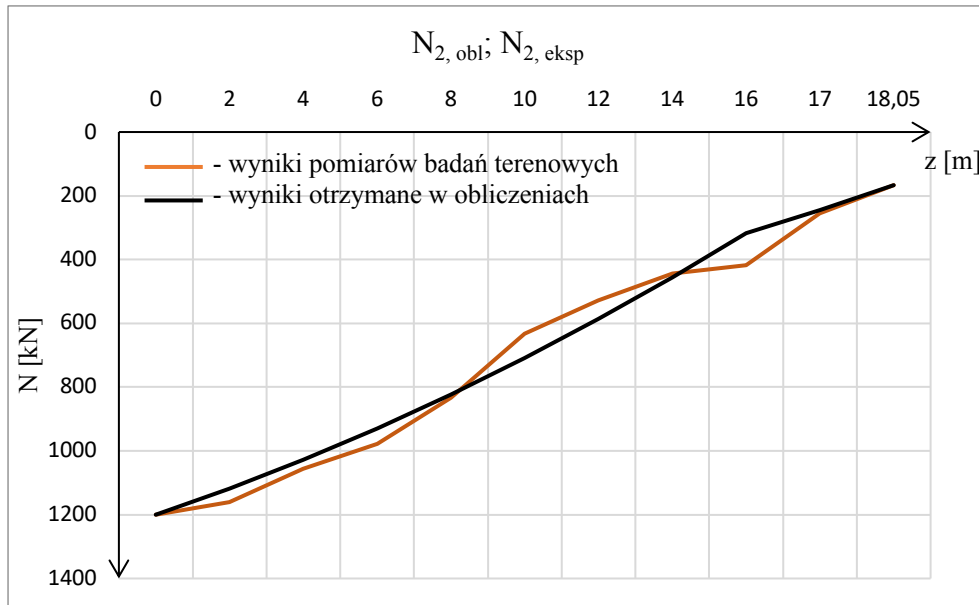


Zał. 42a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 4;  $N_2 = 900 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

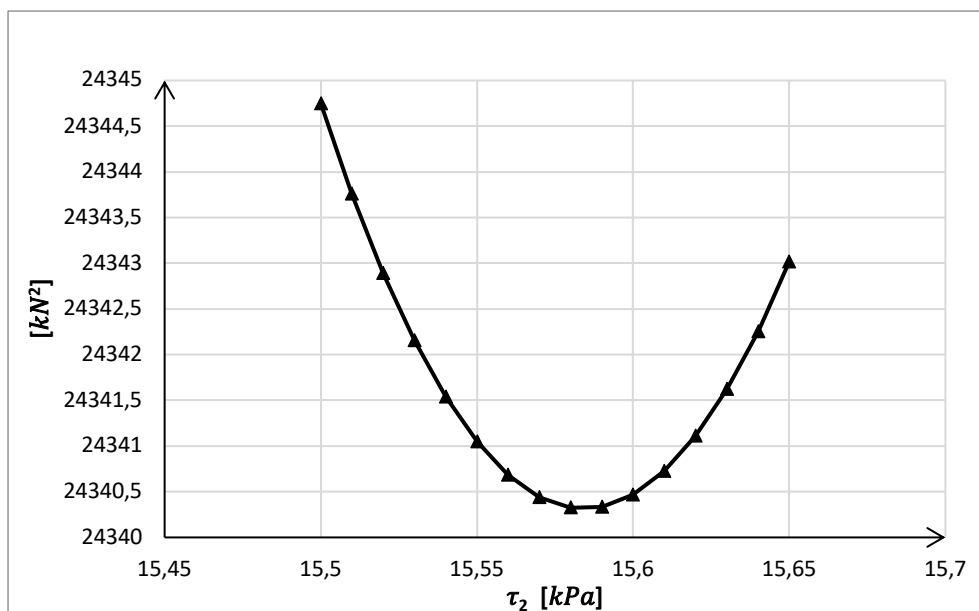


PAL 4;  $N_2 = 1200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 43 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 4;  $N_2 = 1200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

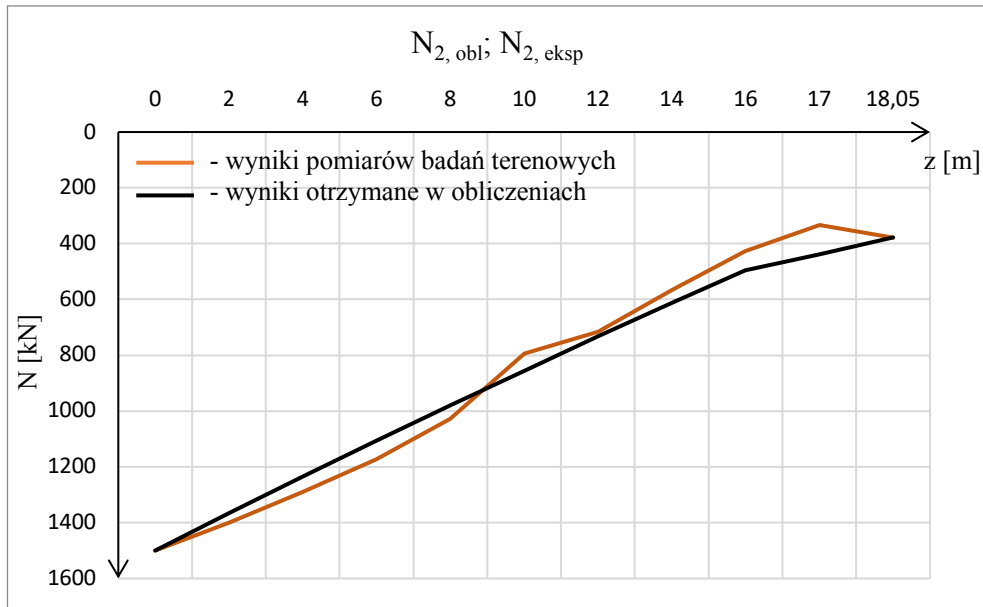


Zał. 43a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 4;  $N_2 = 1200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

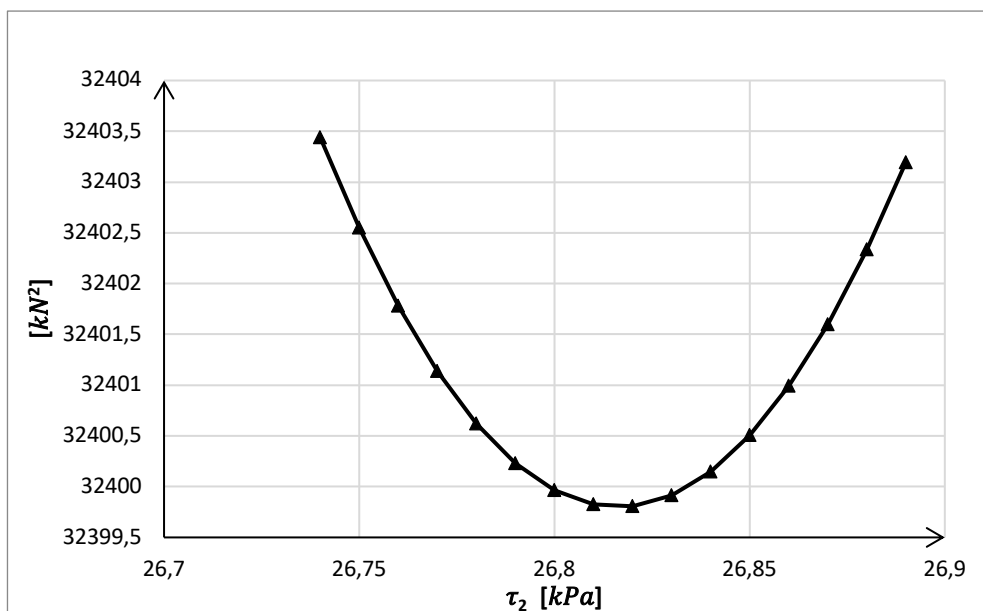


PAL 4;  $N_2 = 1500 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 44 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 4;  $N_2 = 1500 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

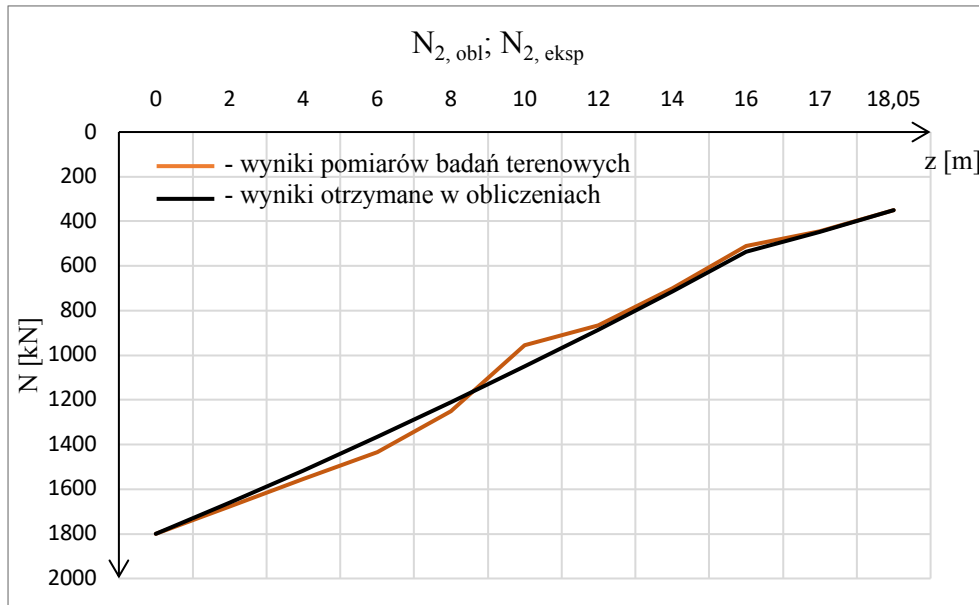


Zał. 44a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 4;  $N_2 = 1500 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

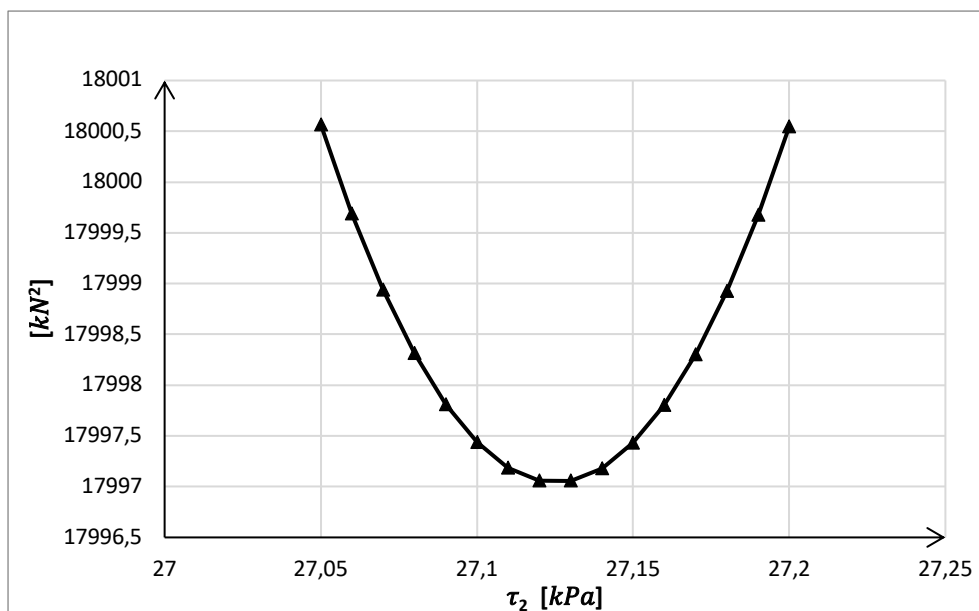


PAL 4;  $N_2 = 1800 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 45 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 4;  $N_2 = 1800 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

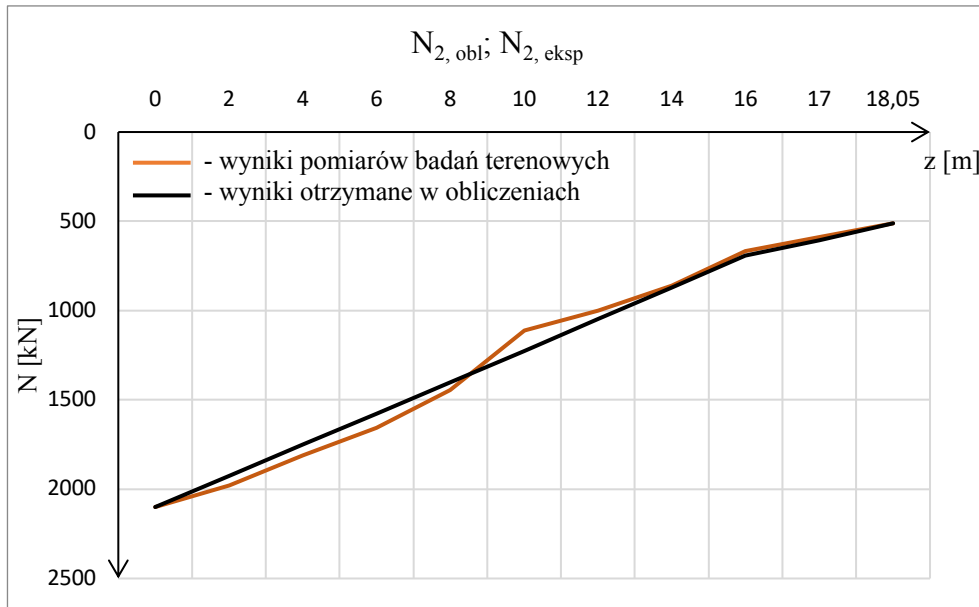


Zał. 45a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 4;  $N_2 = 1800 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

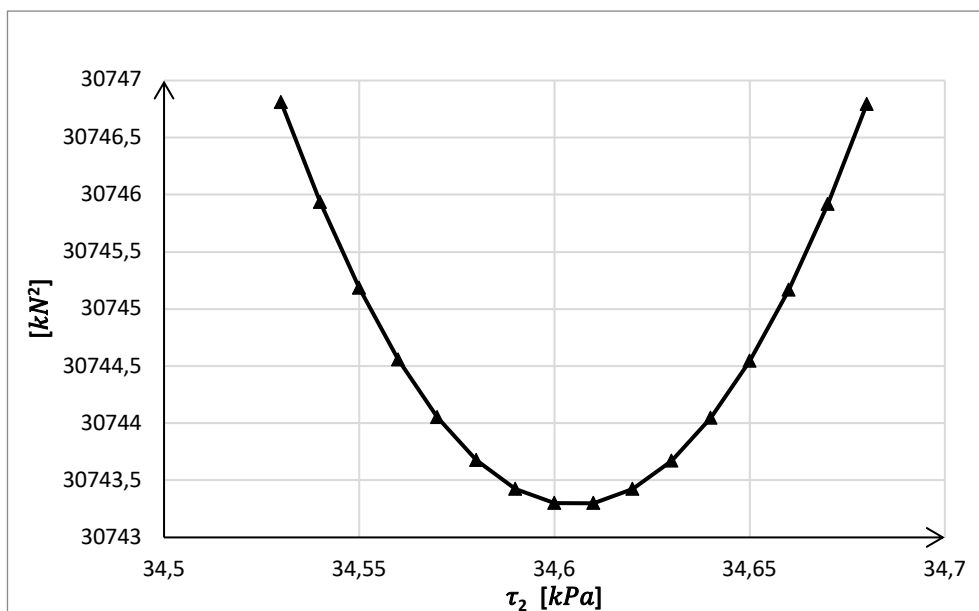


PAL 4;  $N_2 = 2100 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 46 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 4;  $N_2 = 2100 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

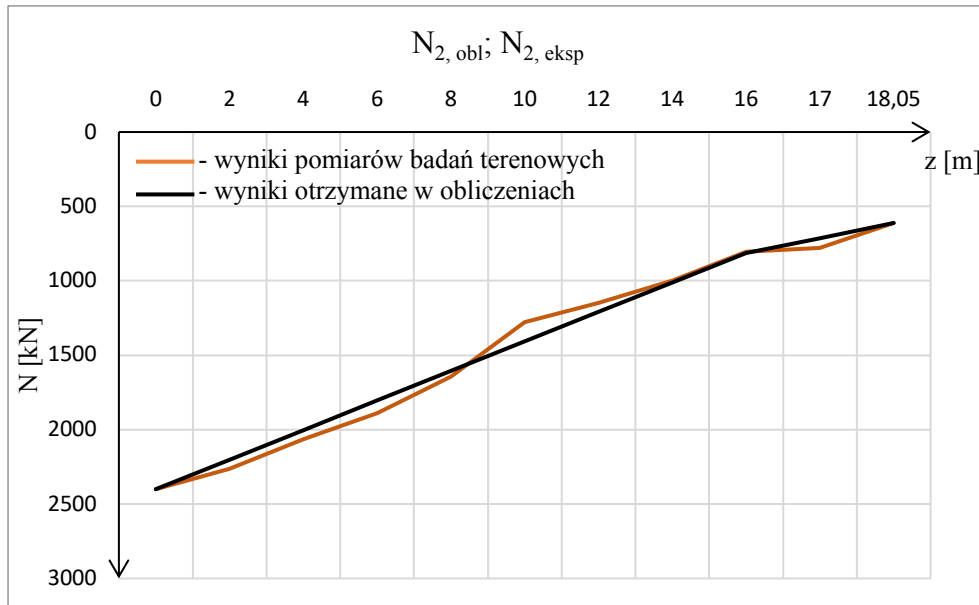


Zał. 46a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 4;  $N_2 = 2100 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

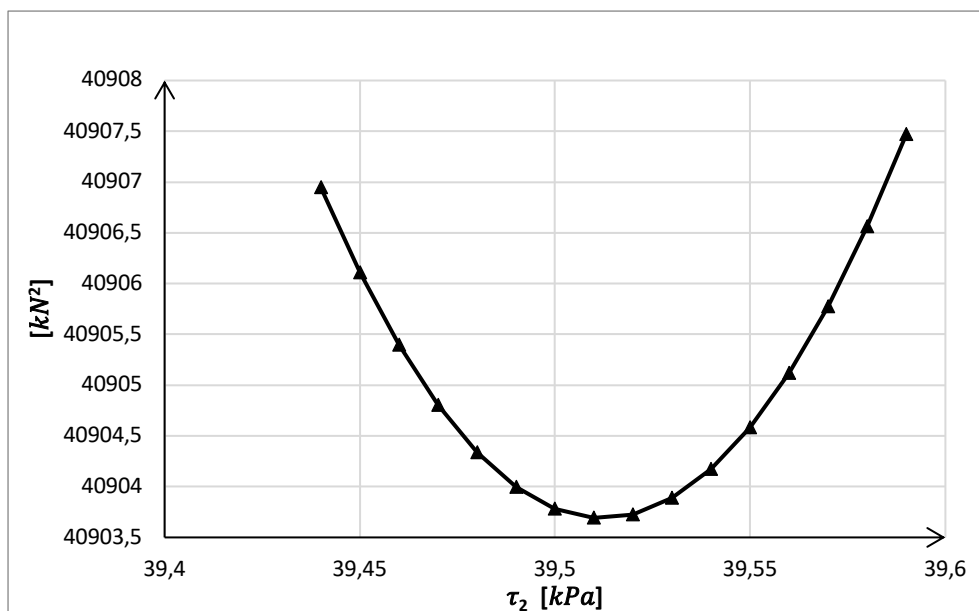


PAL 4;  $N_2 = 2400 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Załącznik 47 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 4;  $N_2 = 2400 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

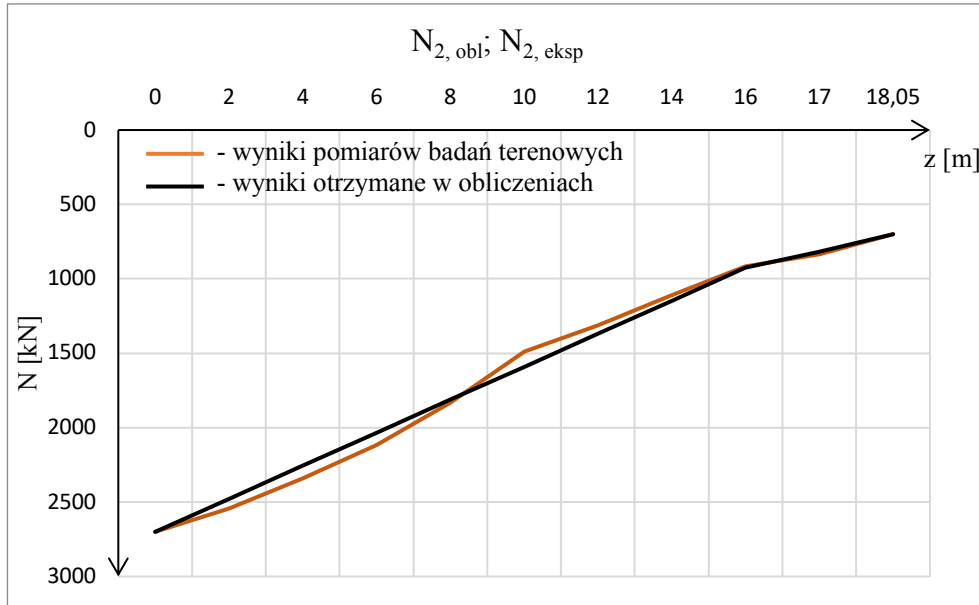


Załącznik 47a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 4;  $N_2 = 2400 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

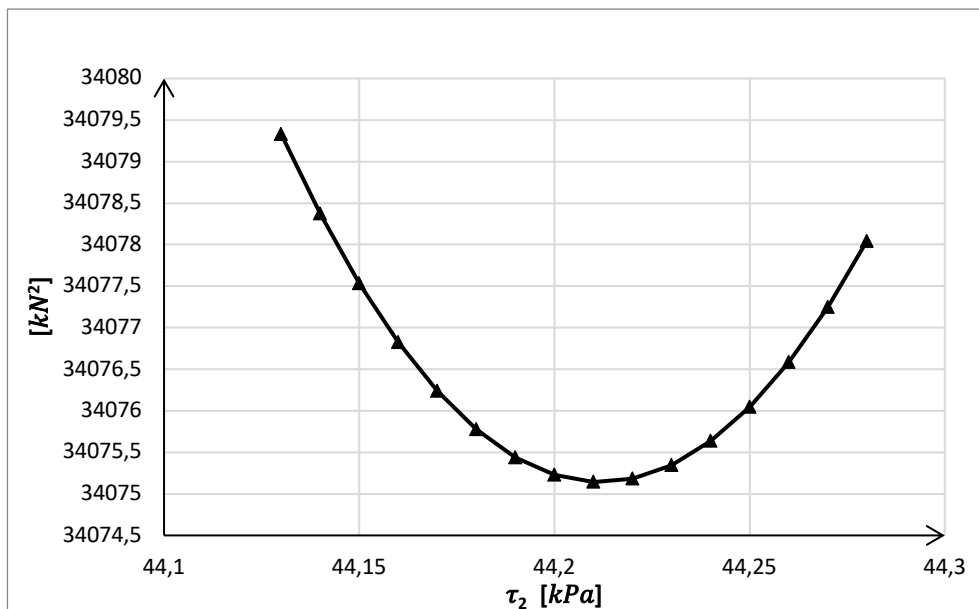


PAL 4;  $N_2 = 2700 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 48 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 4;  $N_2 = 2700 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

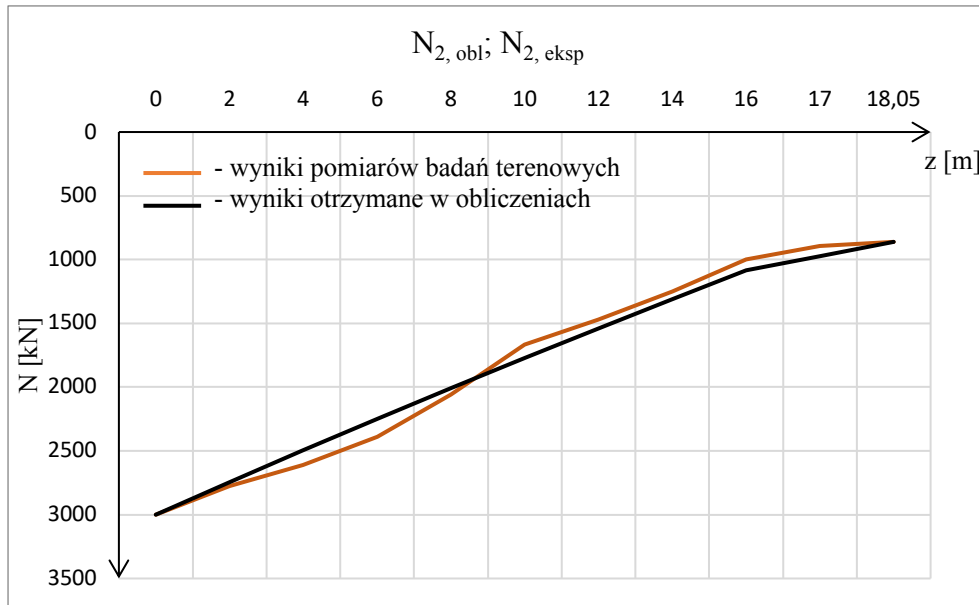


Zał. 48a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 4;  $N_2 = 2700 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

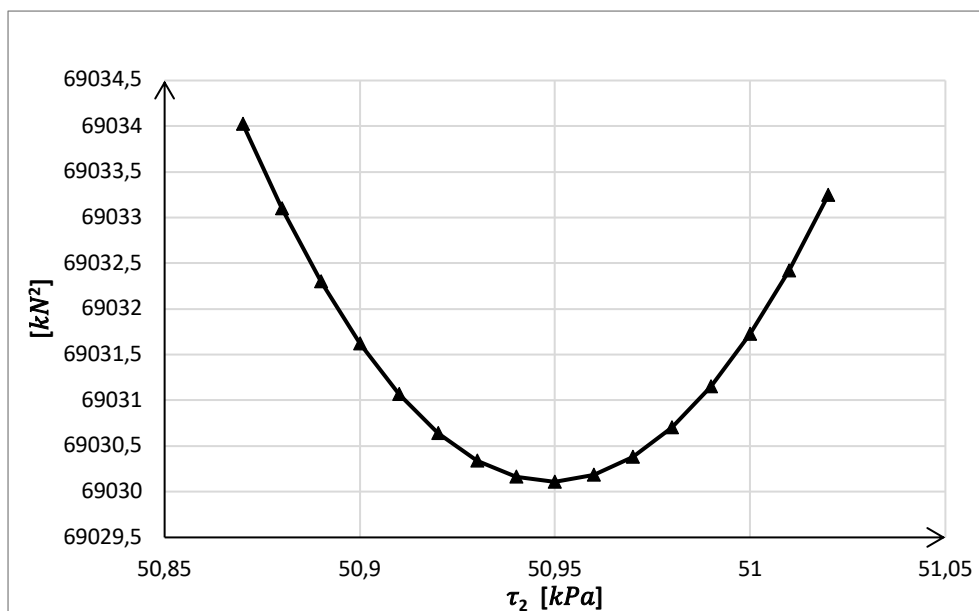


PAL 4;  $N_2 = 3000 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Załącznik 49 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 4;  $N_2 = 3000 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała



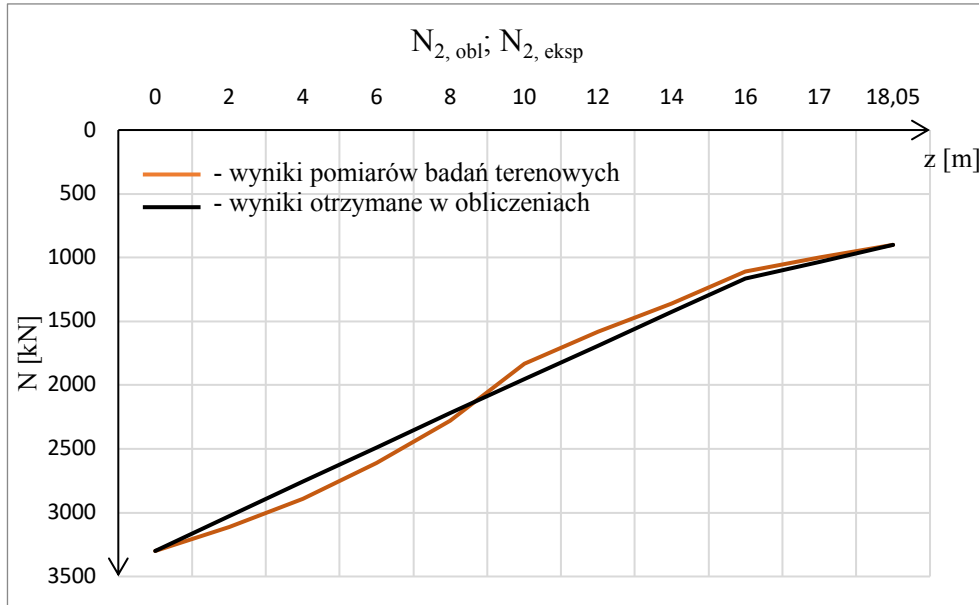
Załącznik 49a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 4;  $N_2 = 3000 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała



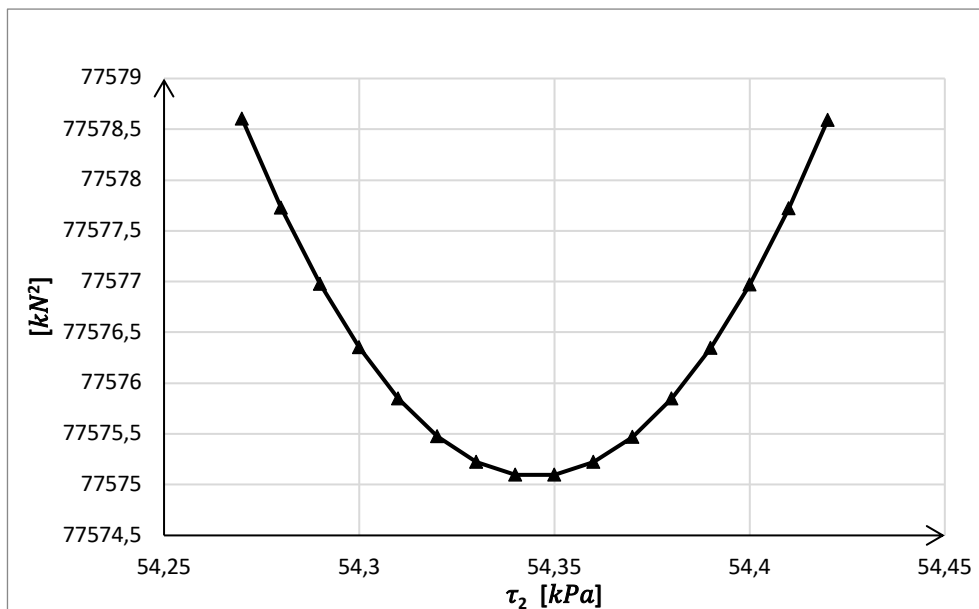


PAL 4;  $N_2 = 3300 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 50 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 4;  $N_2 = 3300 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

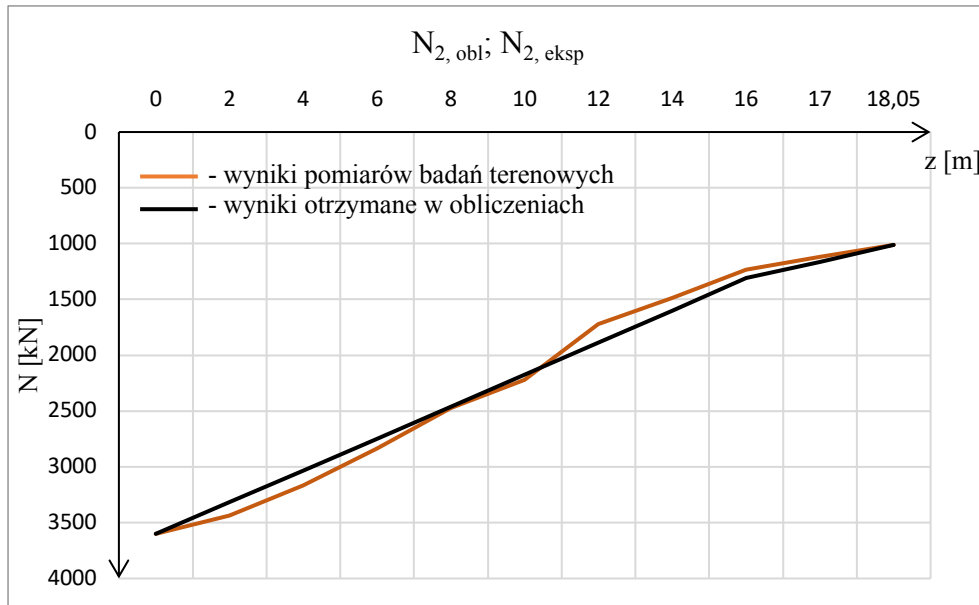


Zał. 50a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 4;  $N_2 = 3300 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

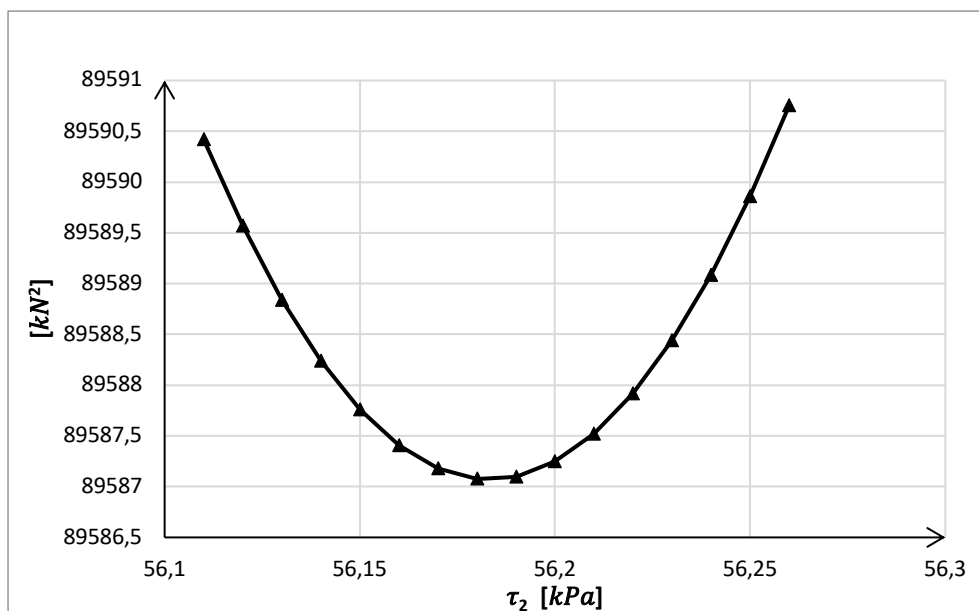


PAL 4;  $N_2 = 3600 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 51 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 4;  $N_2 = 3600 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

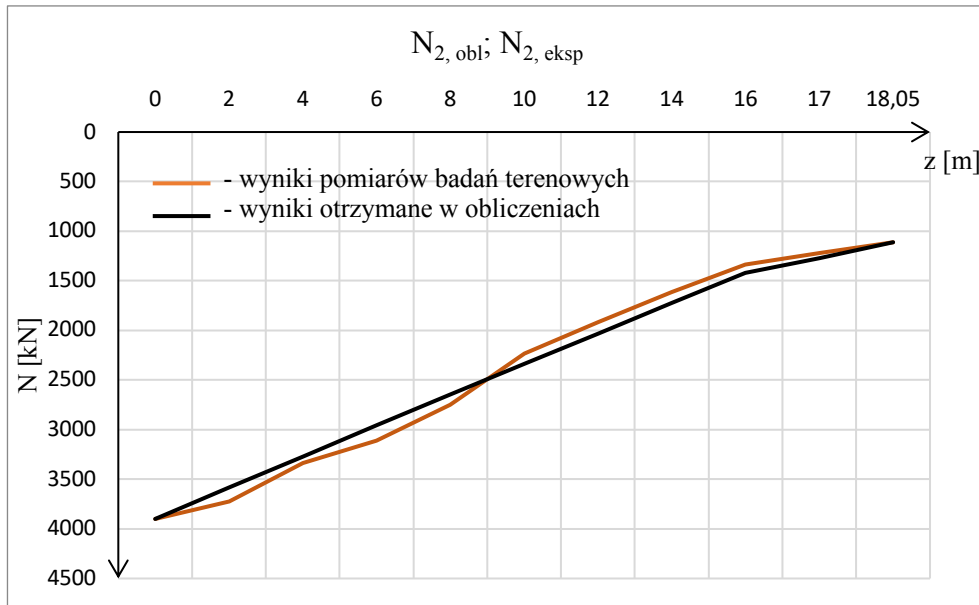


Zał. 51a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 4;  $N_2 = 3600 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

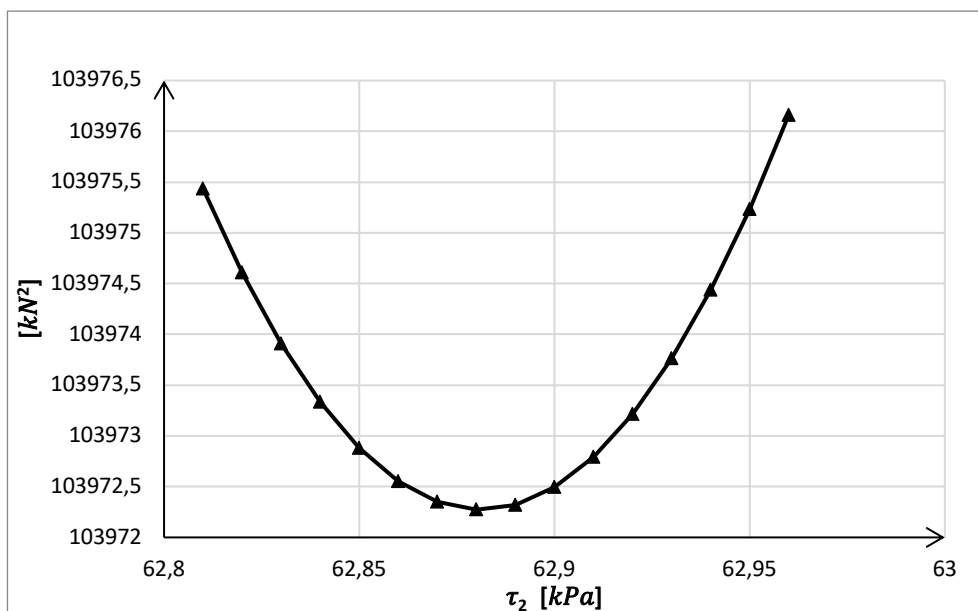


PAL 4;  $N_2 = 3900 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 52 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 4;  $N_2 = 3900 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

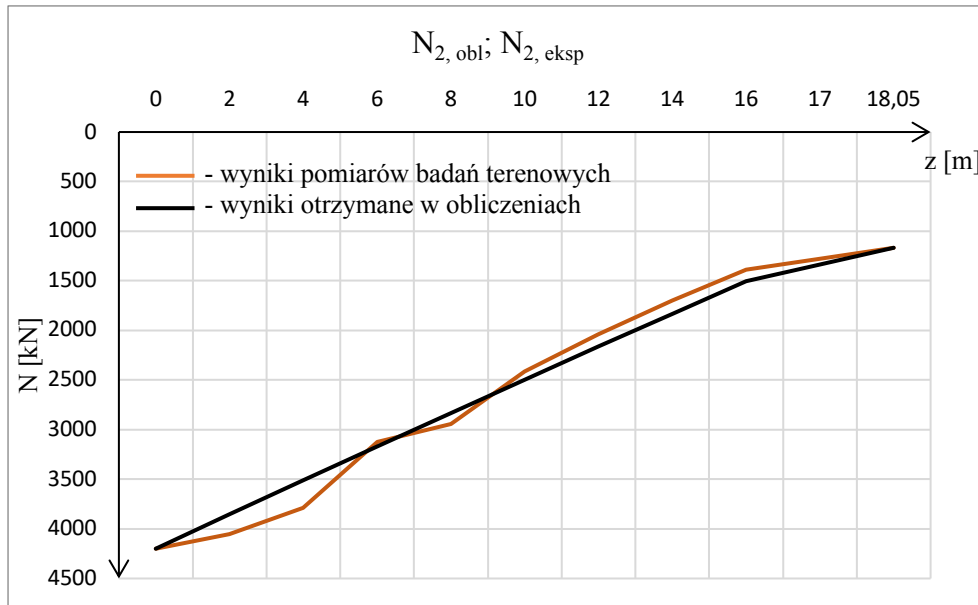


Zał. 52a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 4;  $N_2 = 3900 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

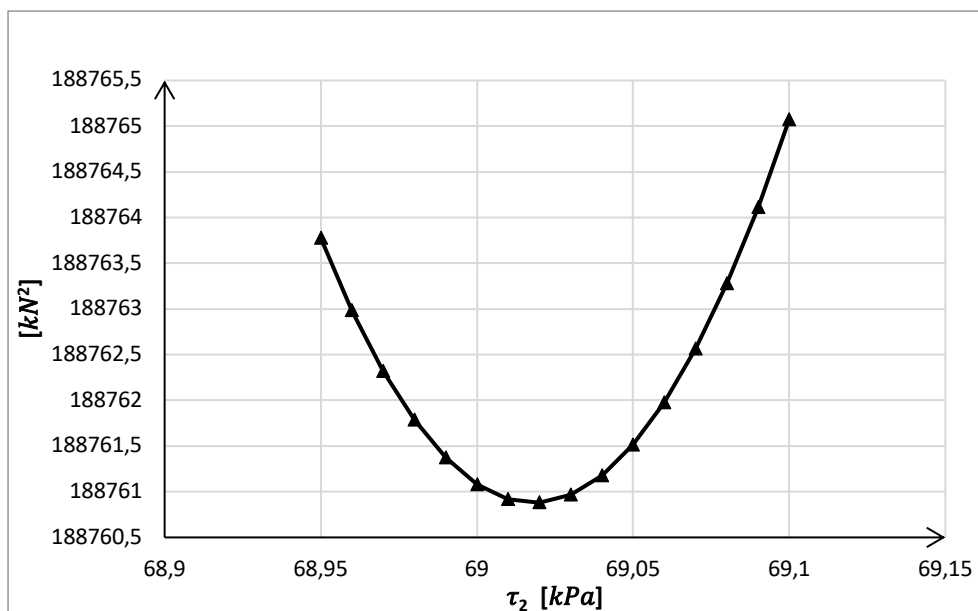


PAL 4;  $N_2 = 4200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Załącznik 53 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 4;  $N_2 = 4200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

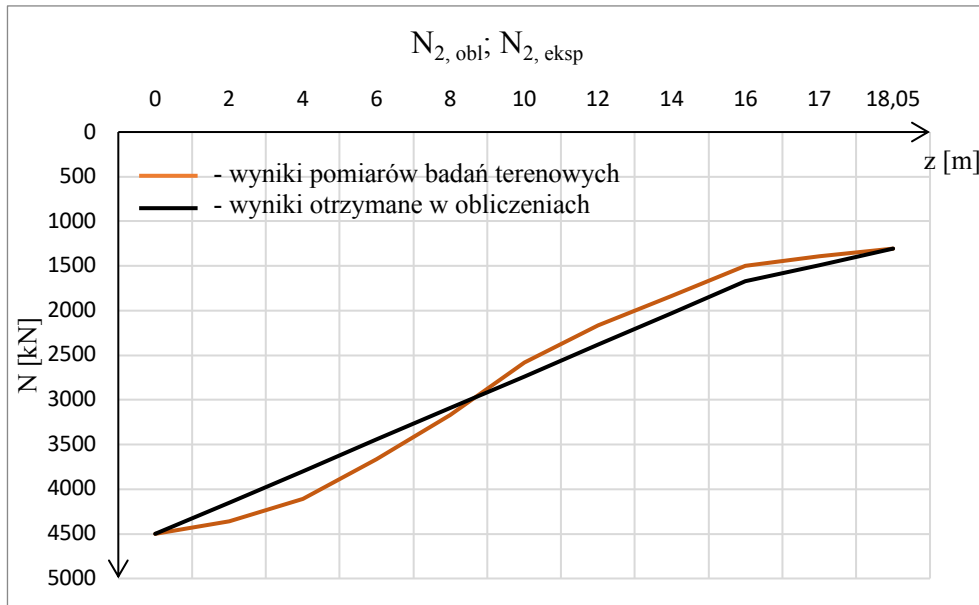


Załącznik 53a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 4;  $N_2 = 4200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

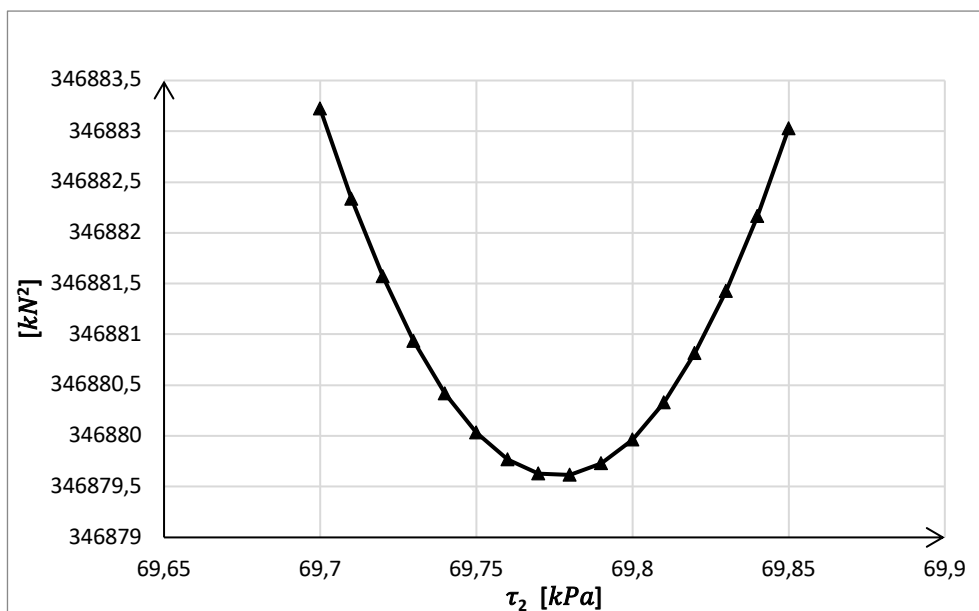


PAL 4;  $N_2 = 4500 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 54 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 4;  $N_2 = 4500 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

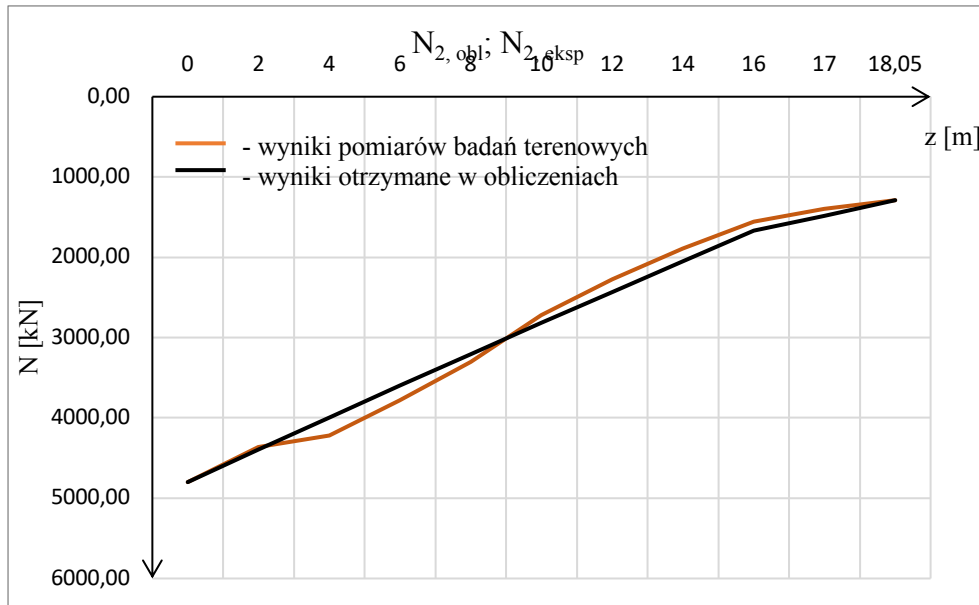


Zał. 54a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 4;  $N_2 = 4500 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

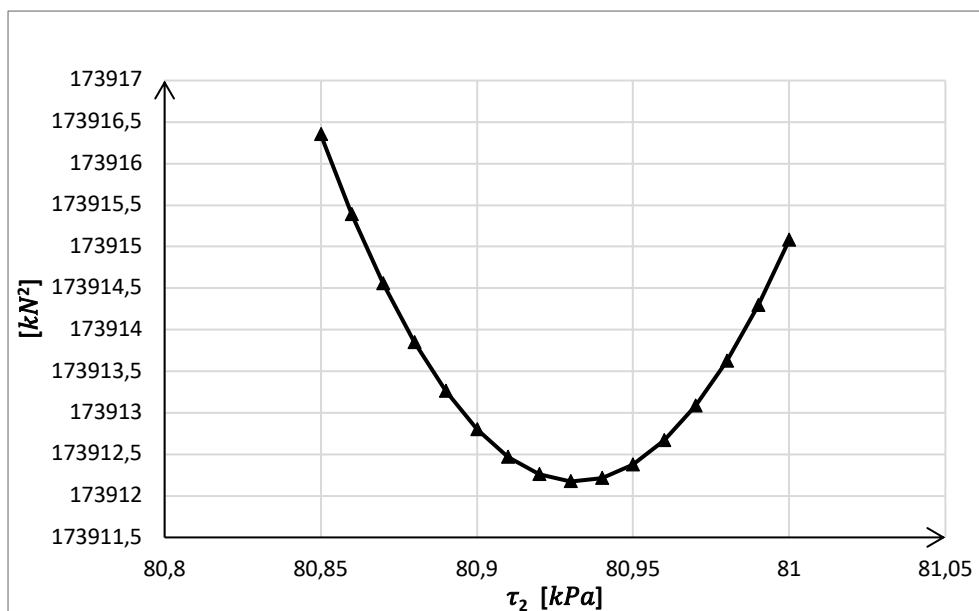


PAL 4;  $N_2 = 4800 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Załącznik 55 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 4;  $N_2 = 4800 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

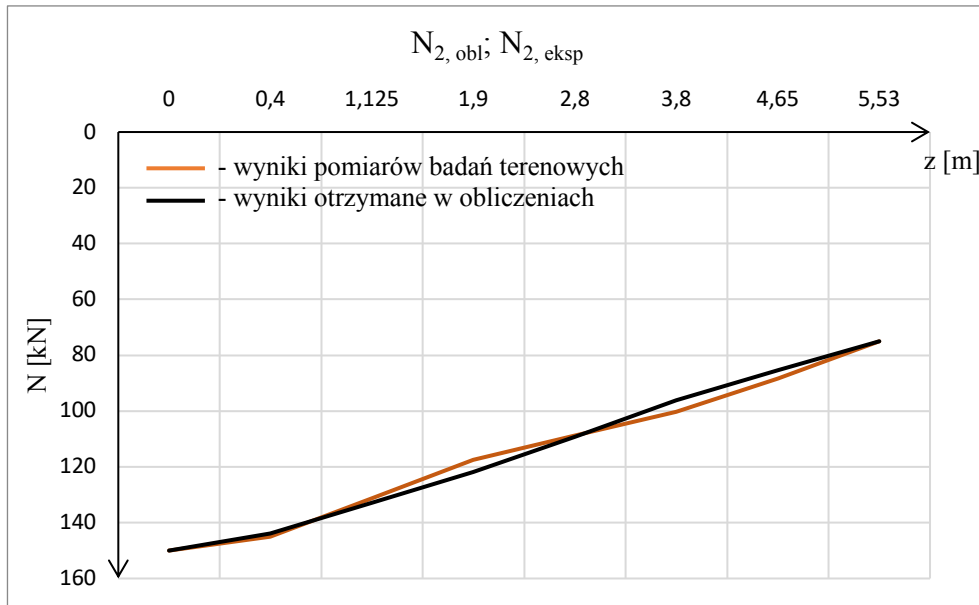


Załącznik 55a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 4;  $N_2 = 4800 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

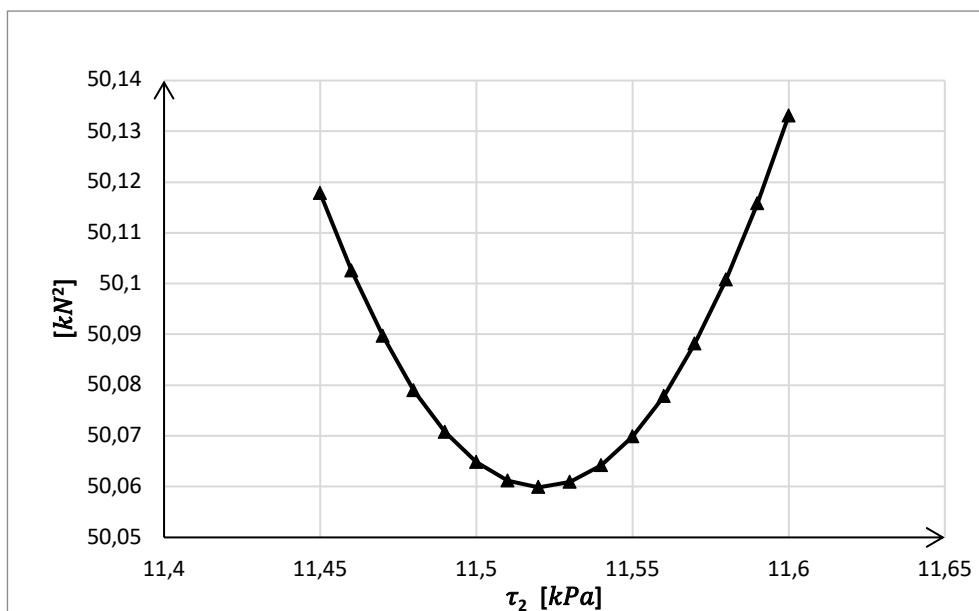


PAL 5;  $N_2 = 150 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 56 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 5;  $N_2 = 150 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

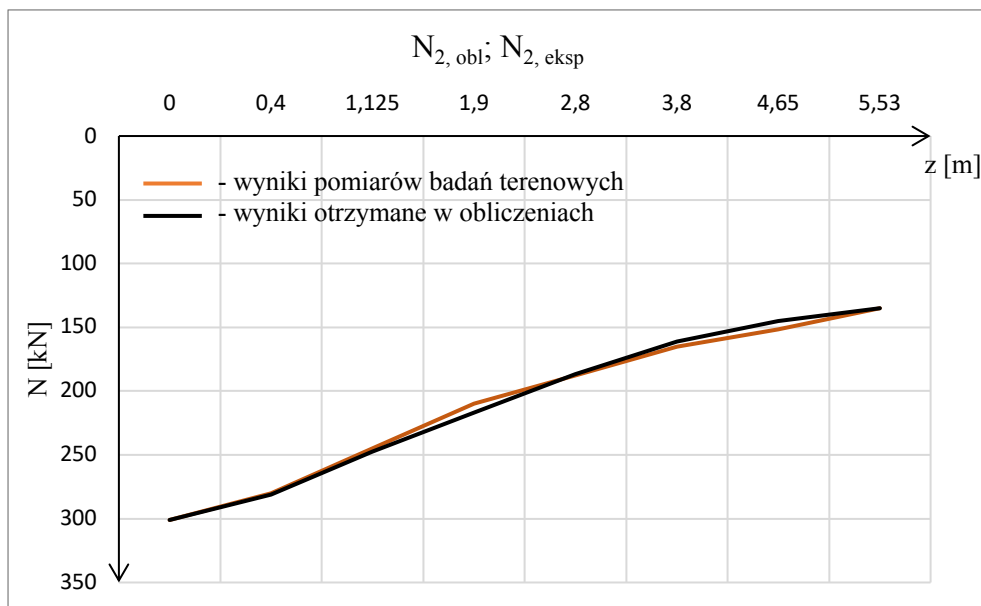


Zał. 56a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 5;  $N_2 = 150 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

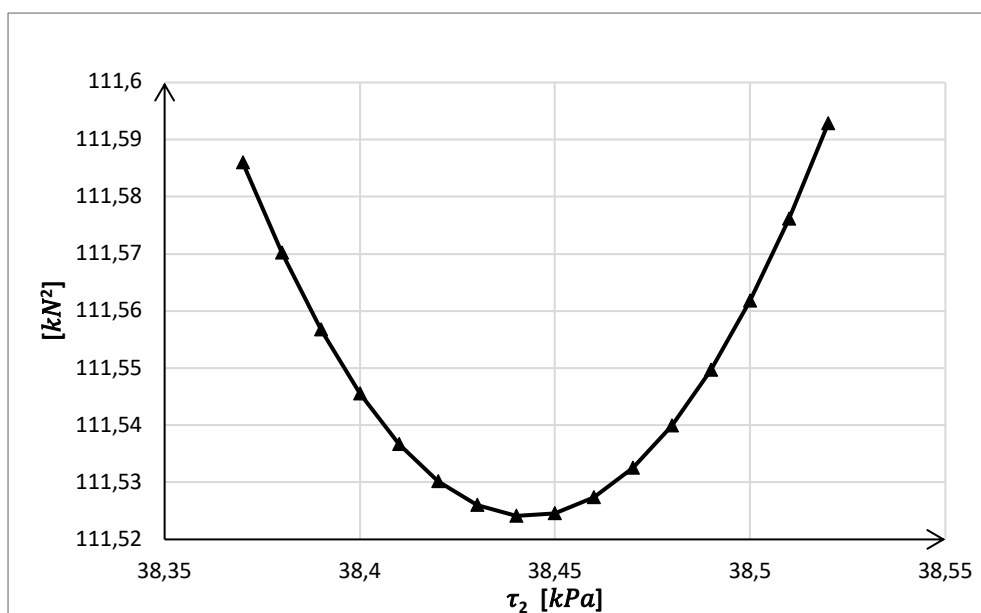


PAL 5;  $N_2 = 301 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Załącznik 57 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 5;  $N_2 = 301 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala



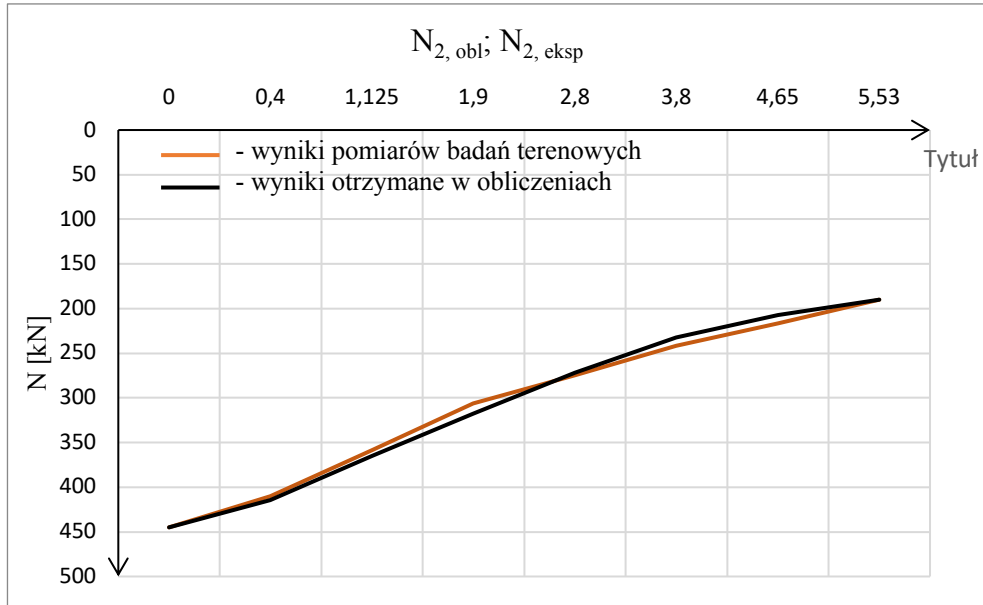
Załącznik 57a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 5;  $N_2 = 301 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala



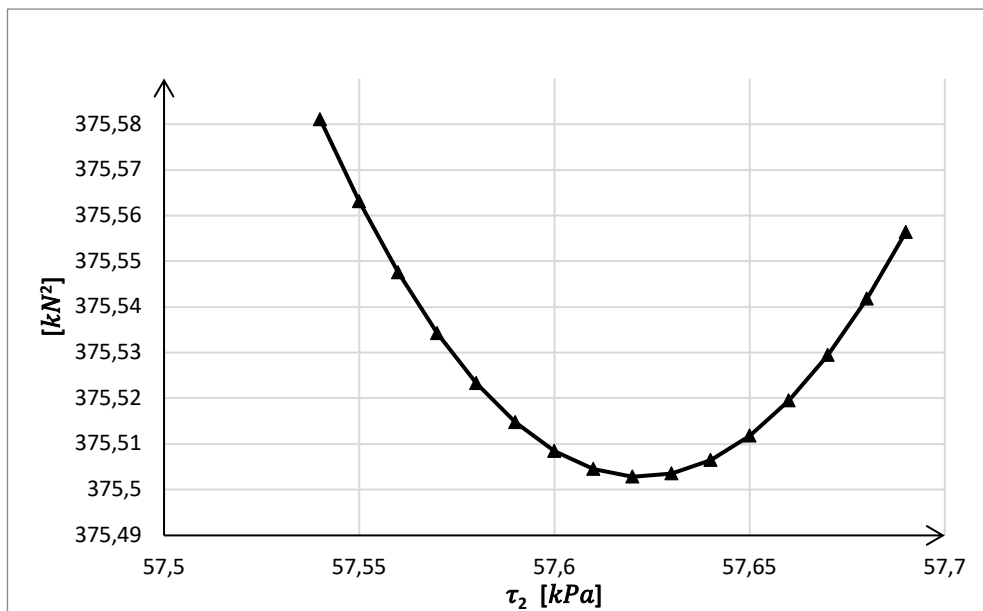


PAL 5;  $N_2 = 445 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 58 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 5;  $N_2 = 445 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

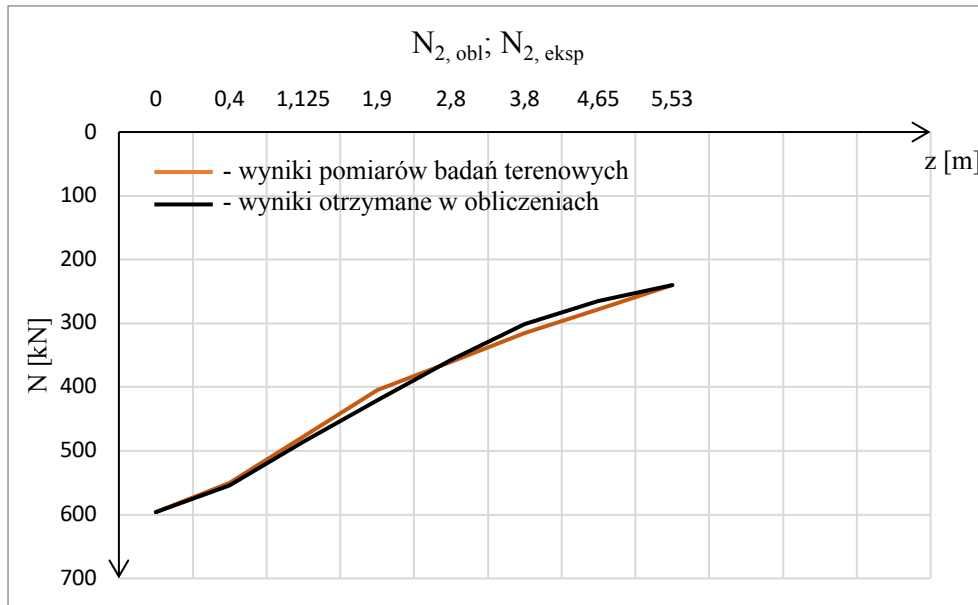


Zał. 58a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 5;  $N_2 = 445 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

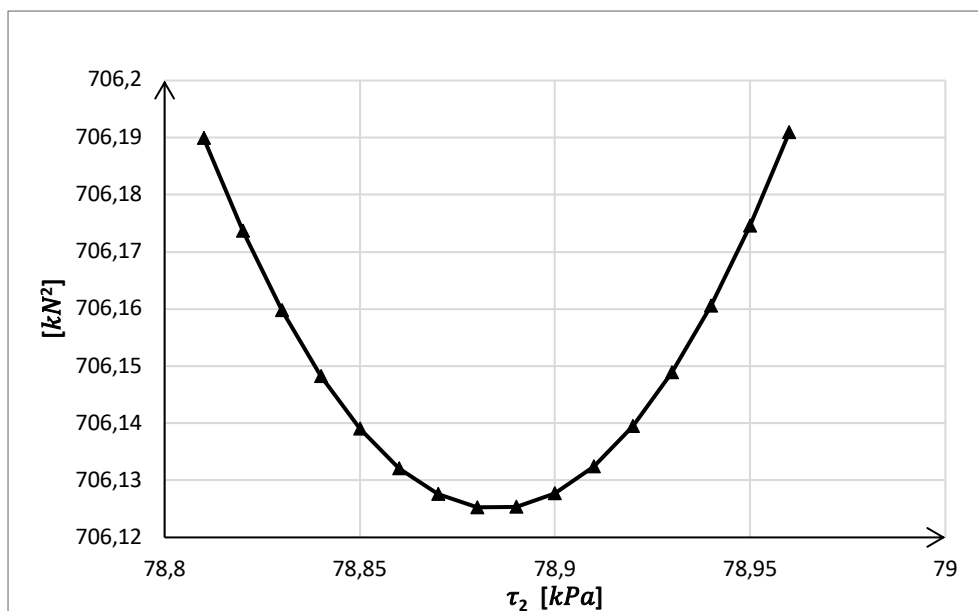


PAL 5;  $N_2 = 596 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Załącznik 59 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 5;  $N_2 = 596 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

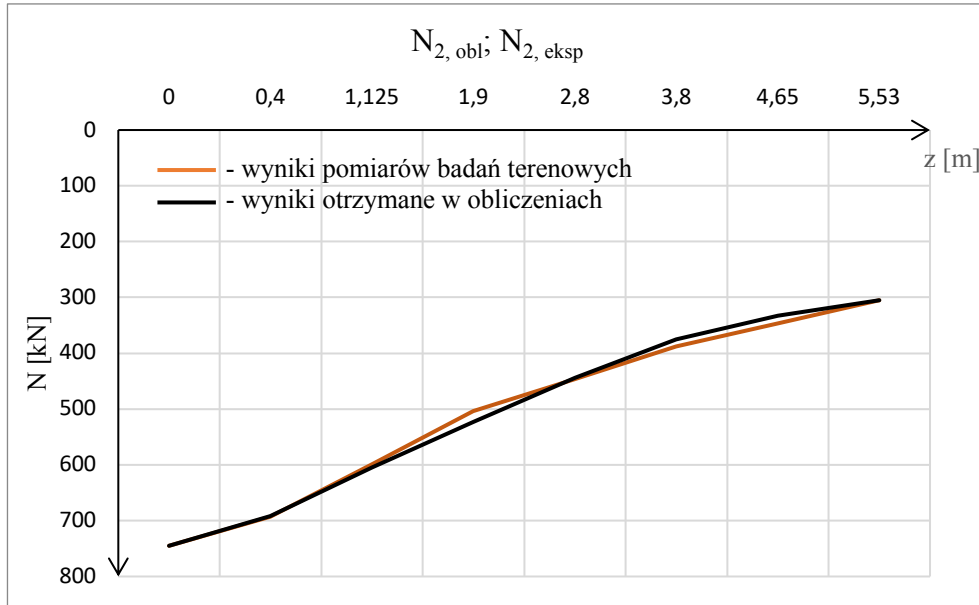


Załącznik 59a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 5;  $N_2 = 596 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

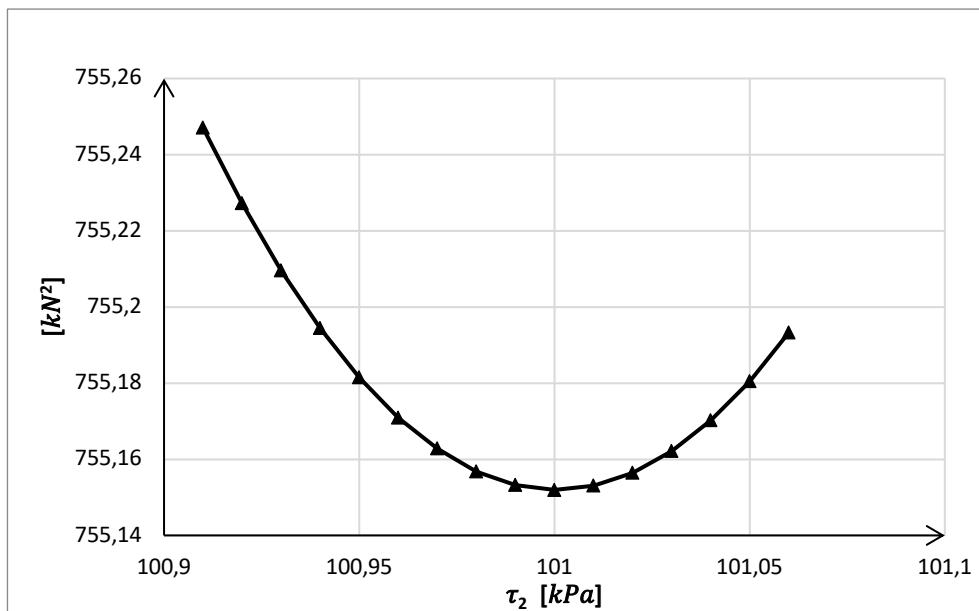


PAL 5;  $N_2 = 745 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 60 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 5;  $N_2 = 745 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

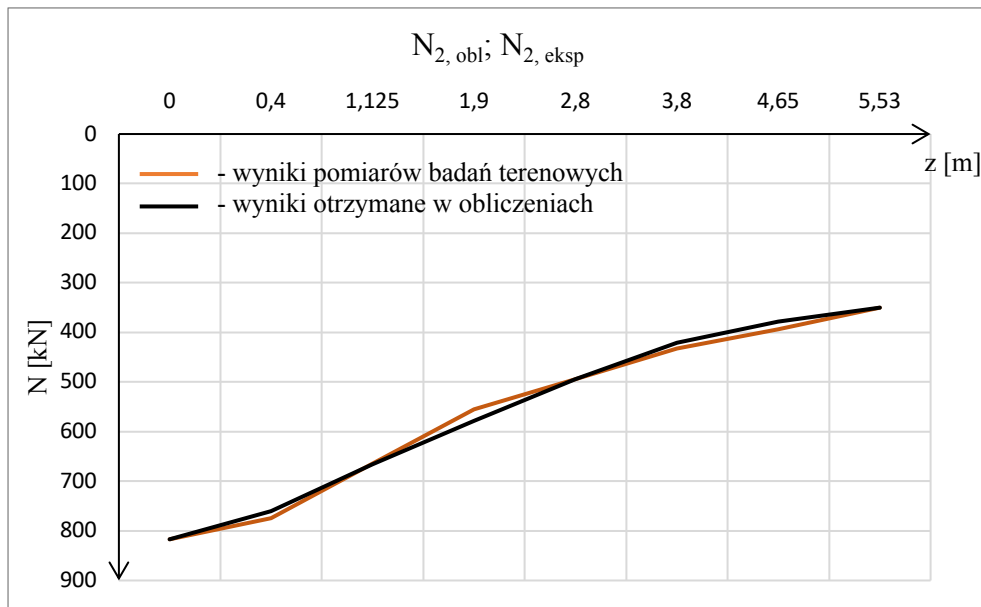


Zał. 60a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 5;  $N_2 = 745 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

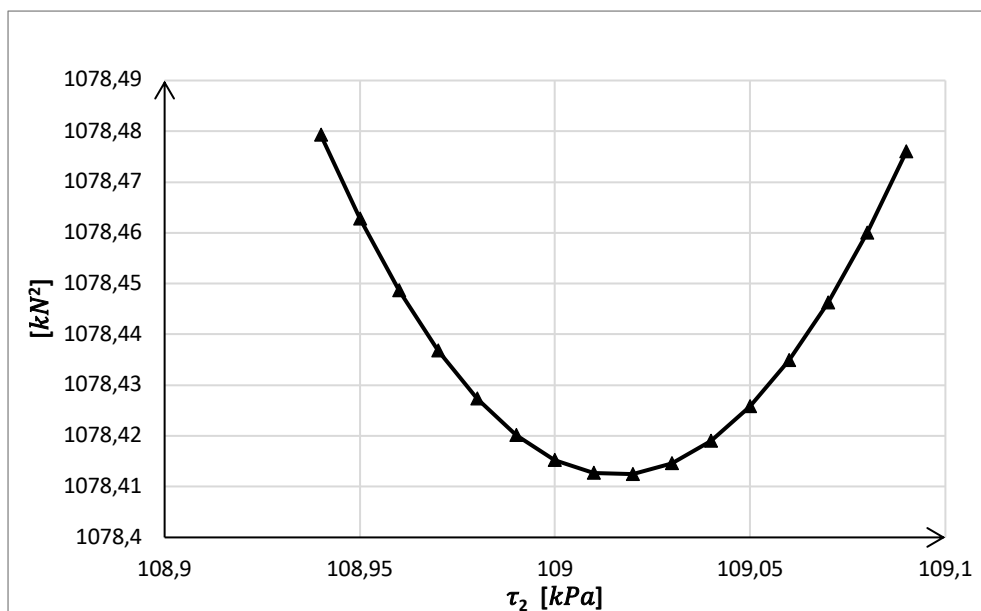


PAL 5;  $N_2 = 817 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Załącznik 61 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 5;  $N_2 = 817 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

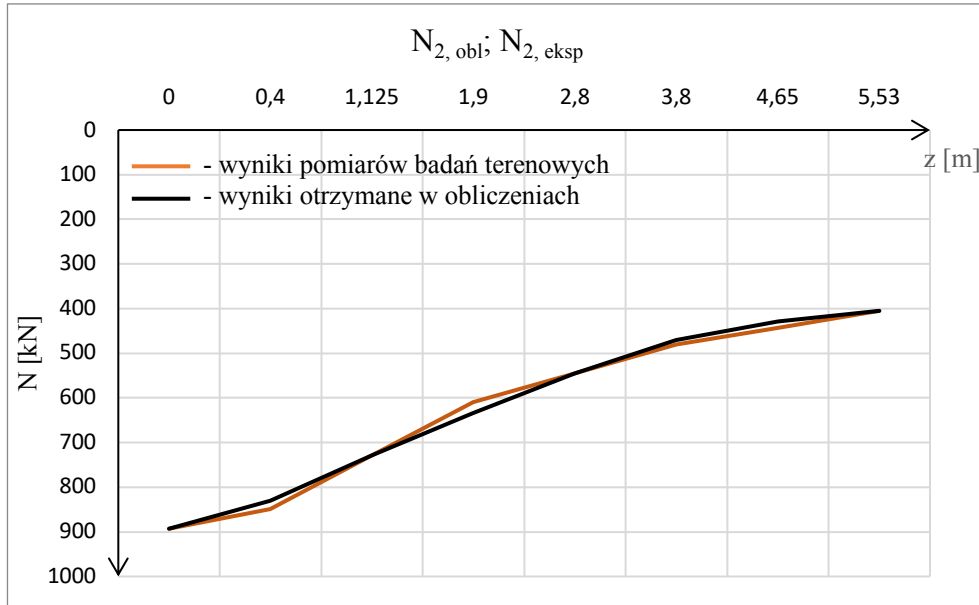


Załącznik 61a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 5;  $N_2 = 817 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

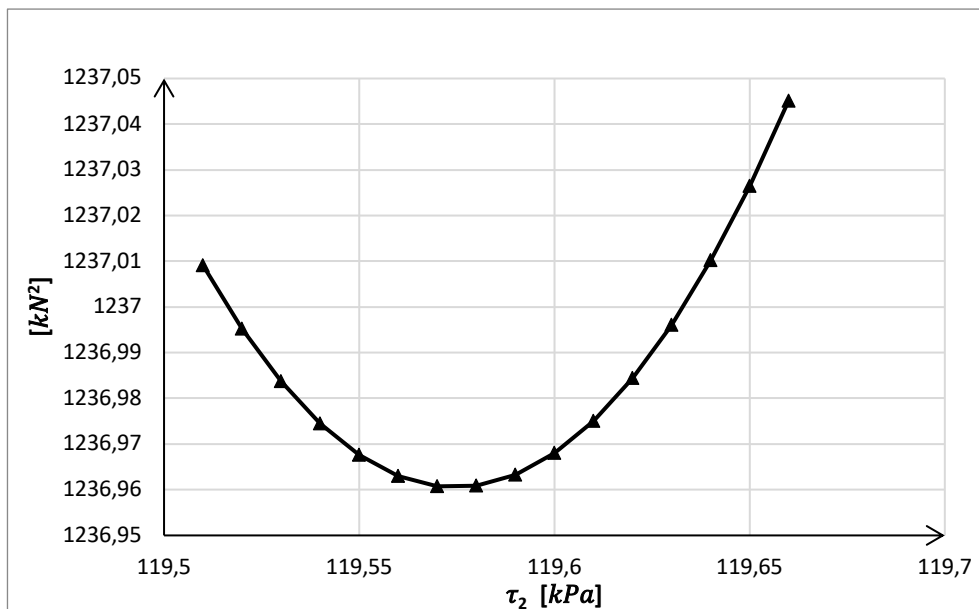


PAL 5;  $N_2 = 893 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 62 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 5;  $N_2 = 893 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

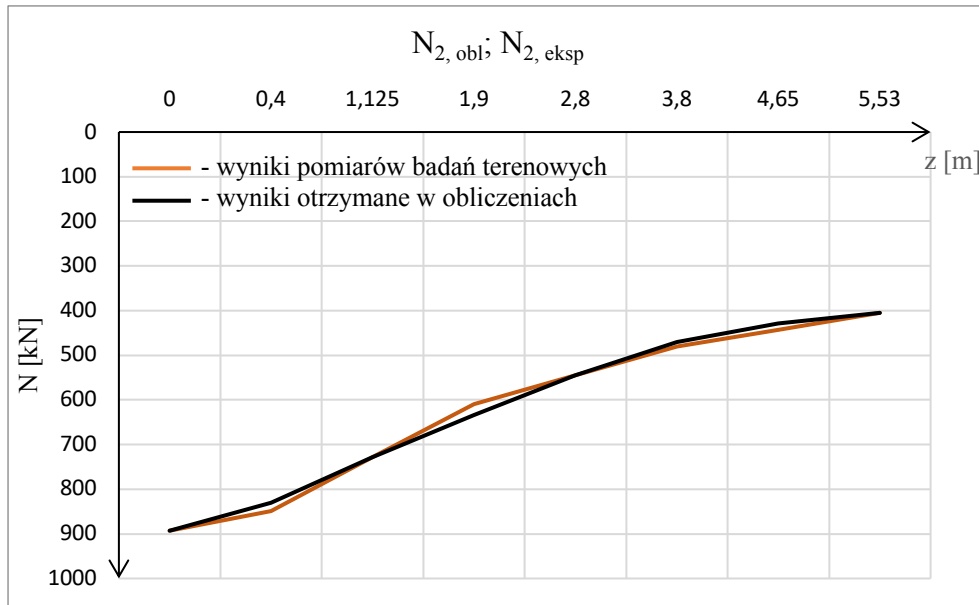


Zał. 62a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 5;  $N_2 = 893 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

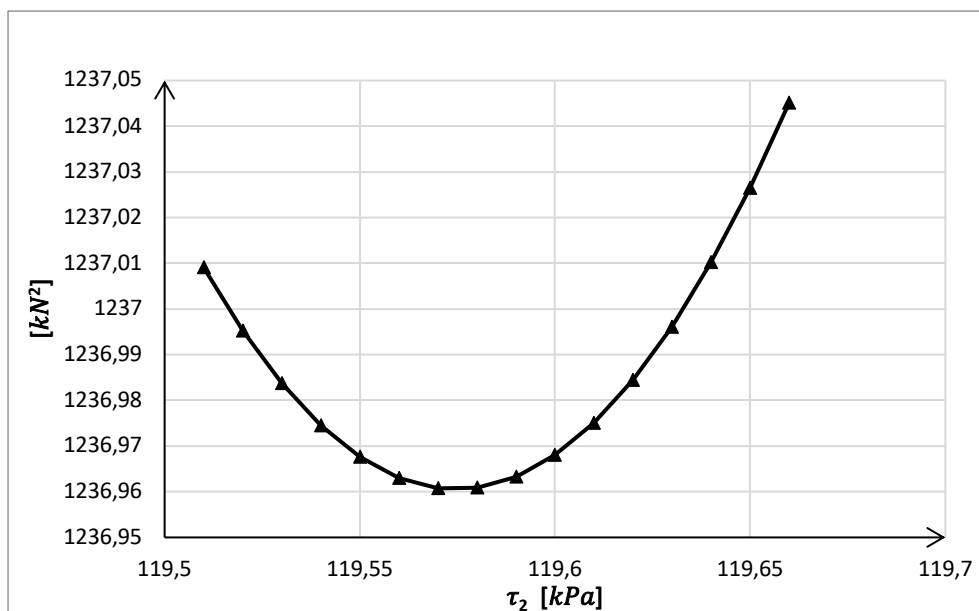


PAL 5;  $N_2 = 963 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 63 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 5;  $N_2 = 963 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

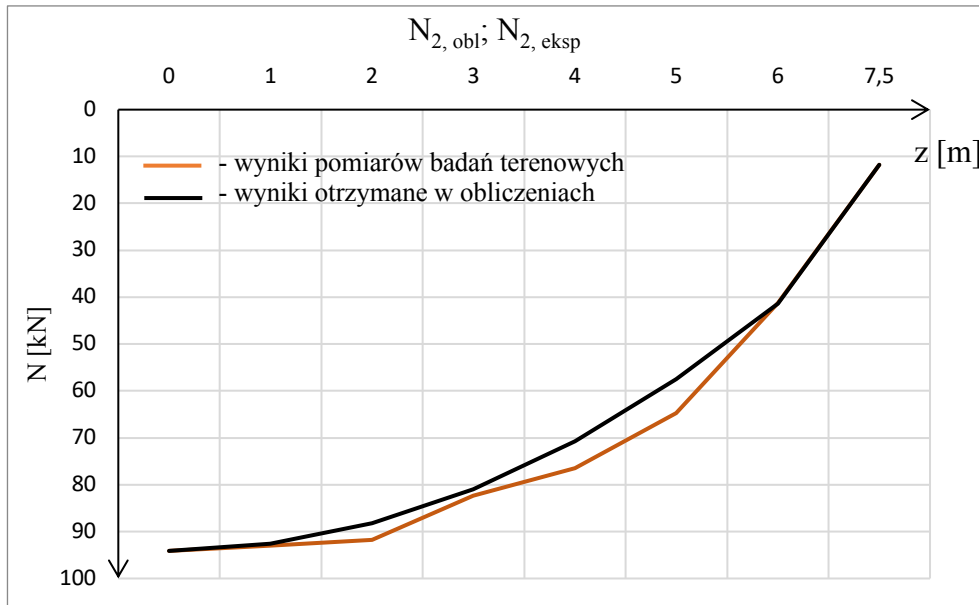


Zał. 63a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 5;  $N_2 = 963 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

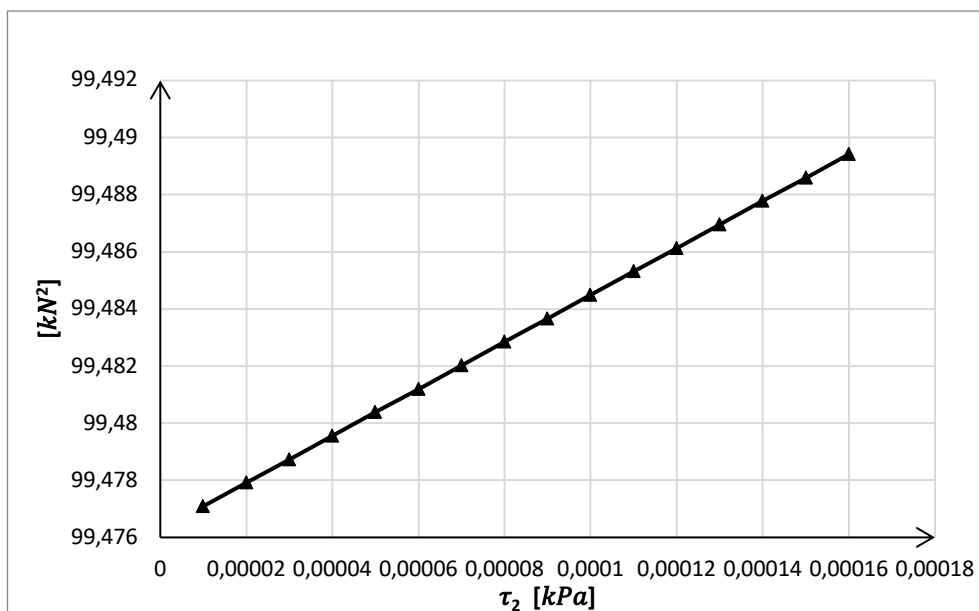


PAL 6;  $N_2 = 94 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 64 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6;  $N_2 = 94 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

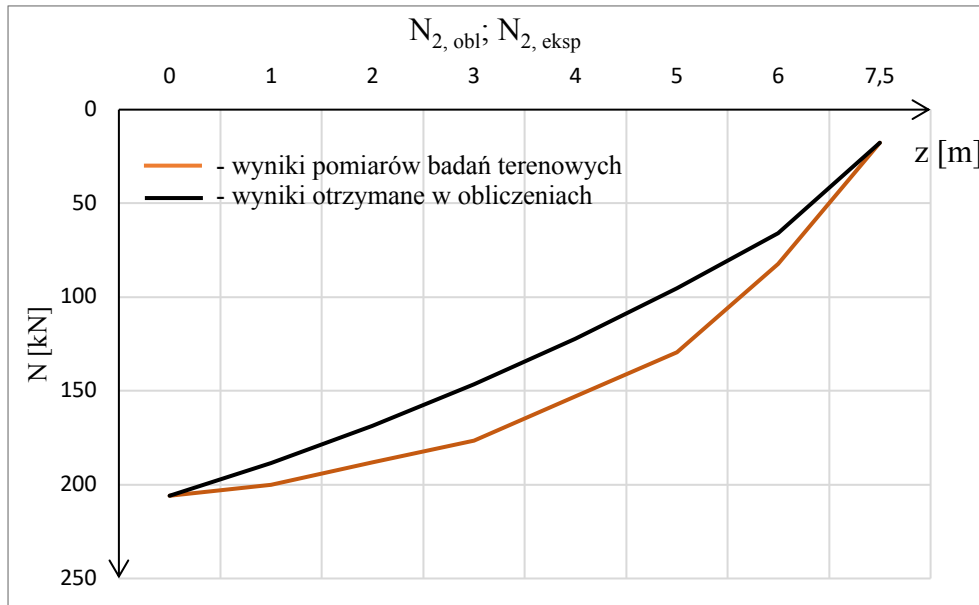


Zał. 64a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 6;  $N_2 = 94 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

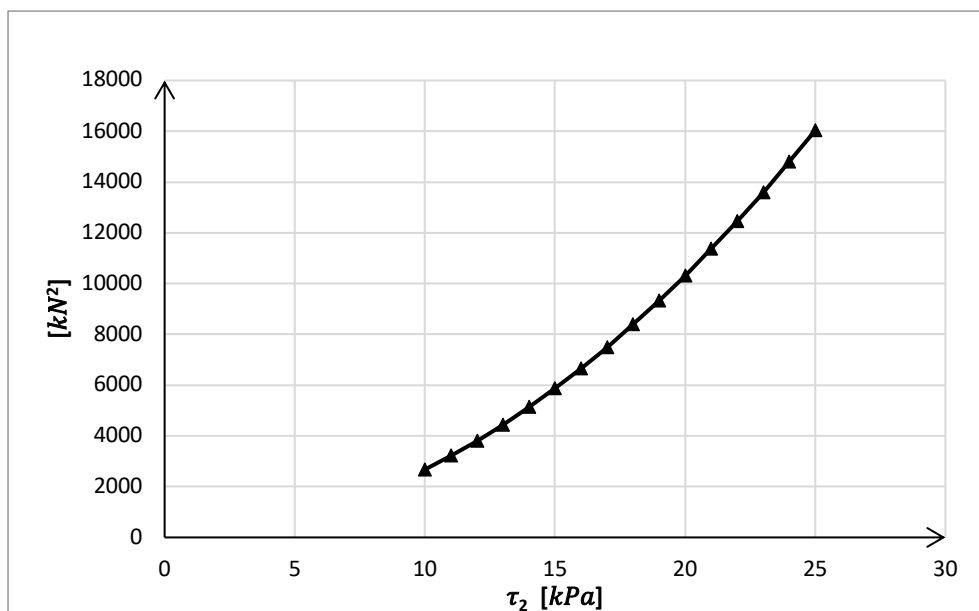


PAL 6;  $N_2 = 205 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 65 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6;  $N_2 = 205 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala



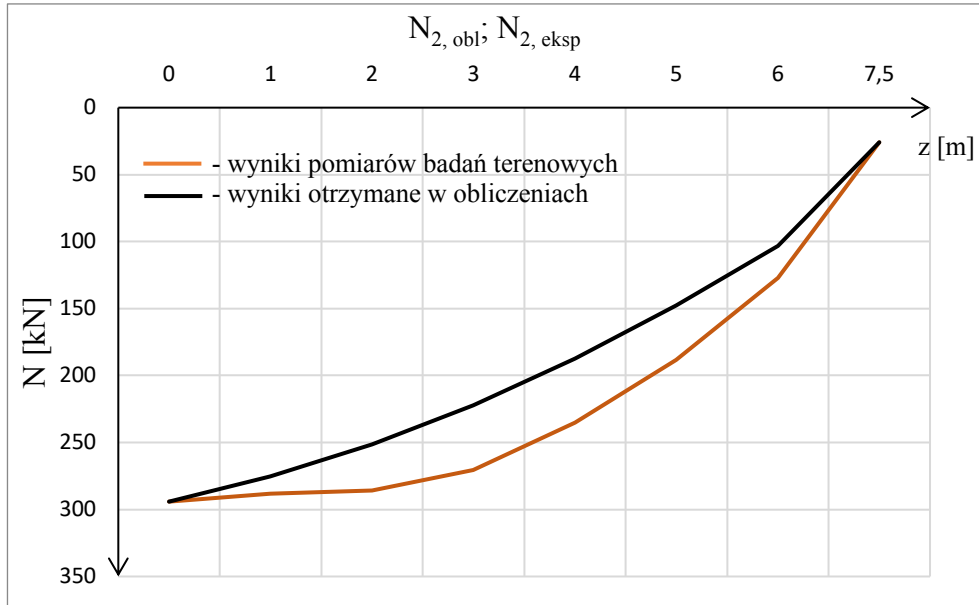
Zał. 65a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6;  $N_2 = 205 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala



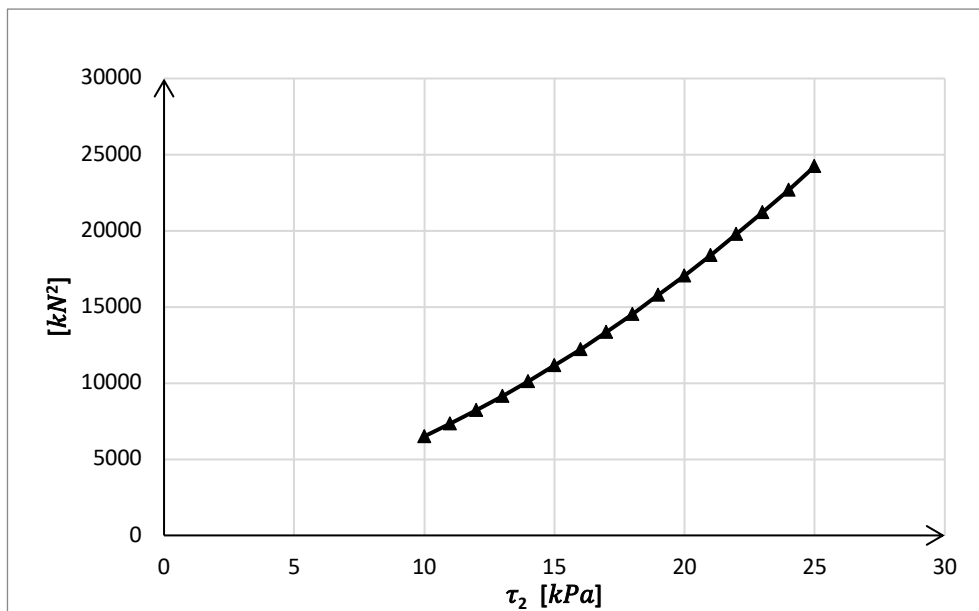


PAL 6;  $N_2 = 205 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 66 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6;  $N_2 = 205 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

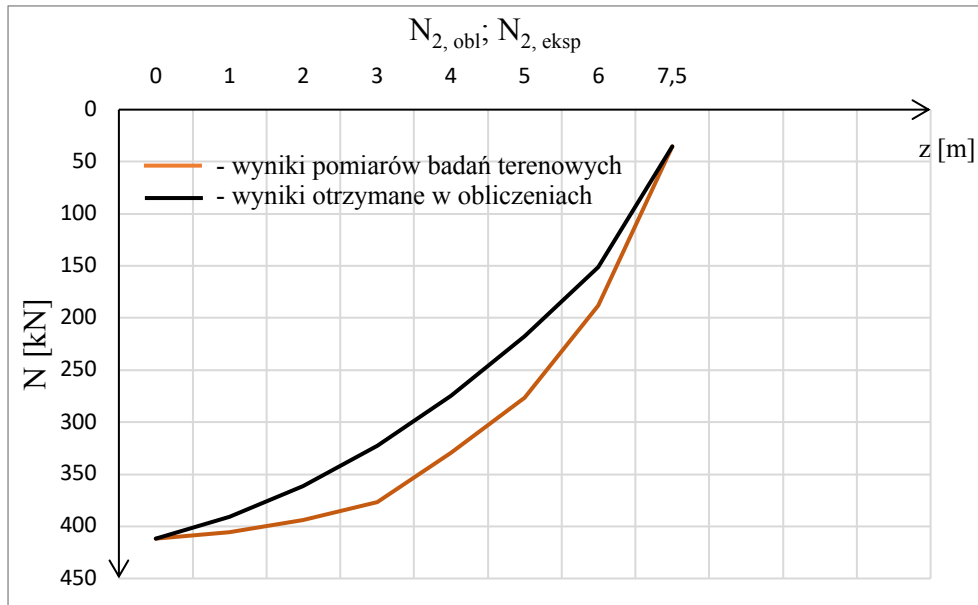


Zał. 66a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6;  $N_2 = 205 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

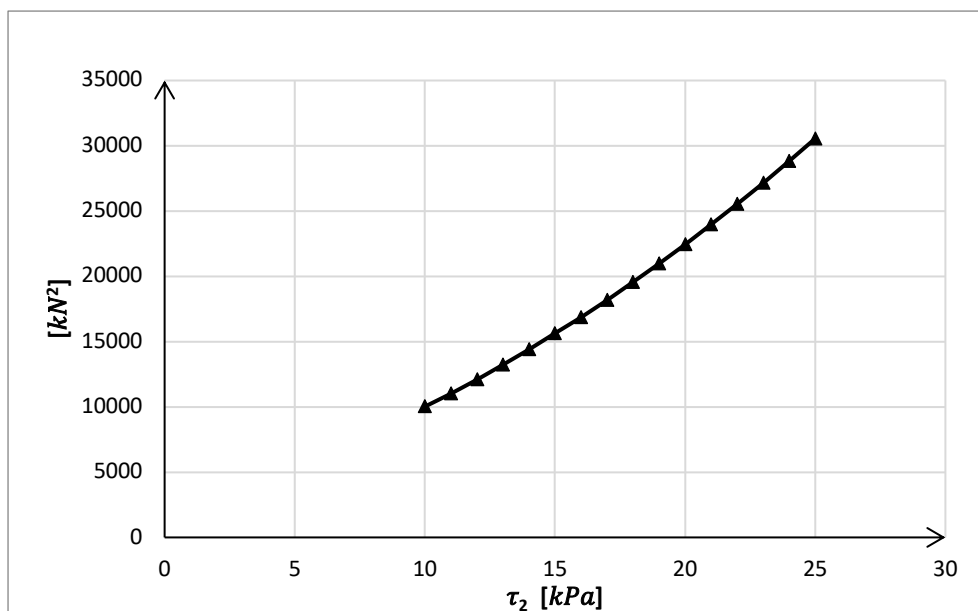


PAL 6;  $N_2 = 411 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Załącznik 67 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6;  $N_2 = 411 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

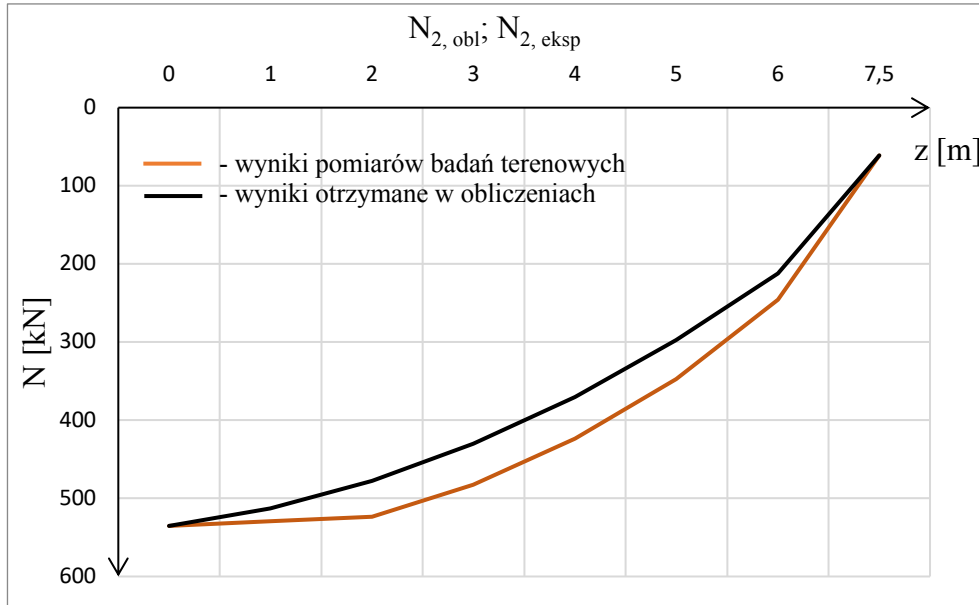


Załącznik 67a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 6;  $N_2 = 411 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

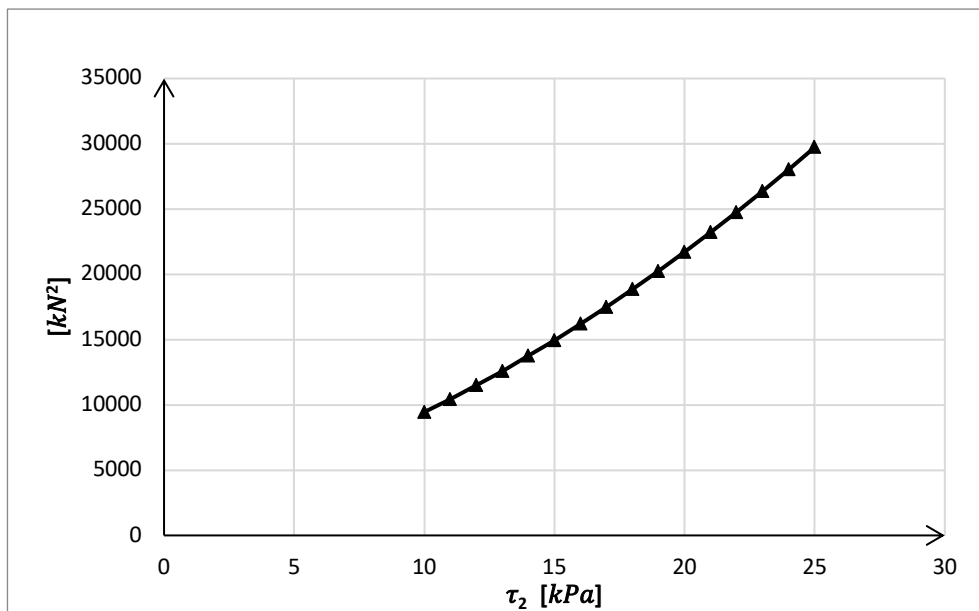


PAL 6;  $N_2 = 529 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 68 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6;  $N_2 = 529 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

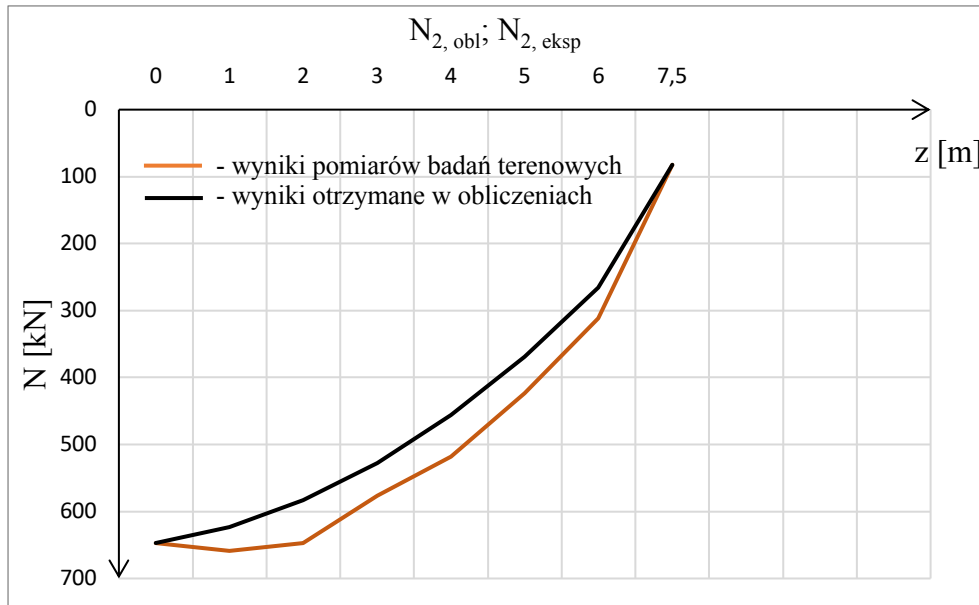


Zał. 68a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6;  $N_2 = 529 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

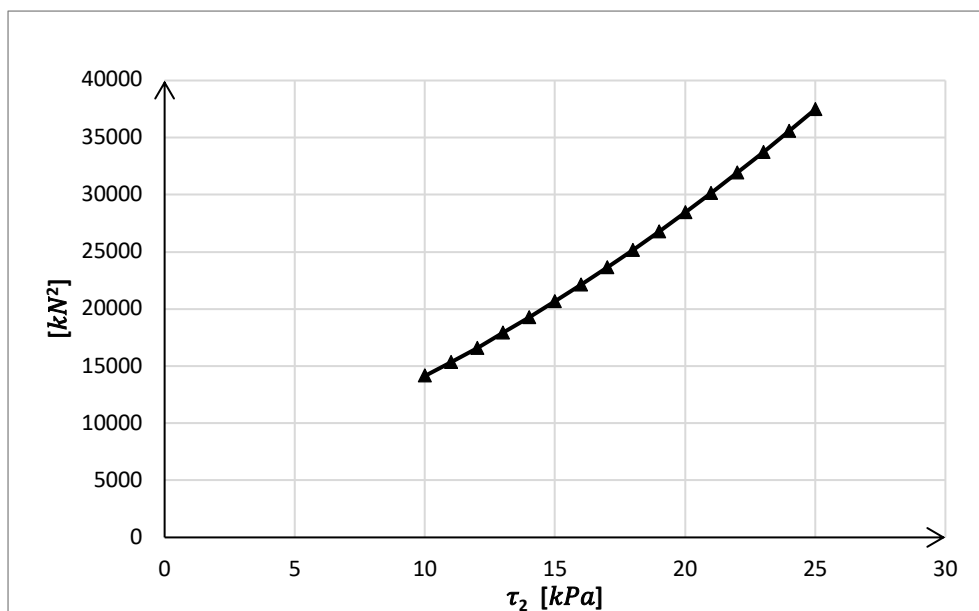


PAL 6;  $N_2 = 647 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Załącznik 69 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6;  $N_2 = 647 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

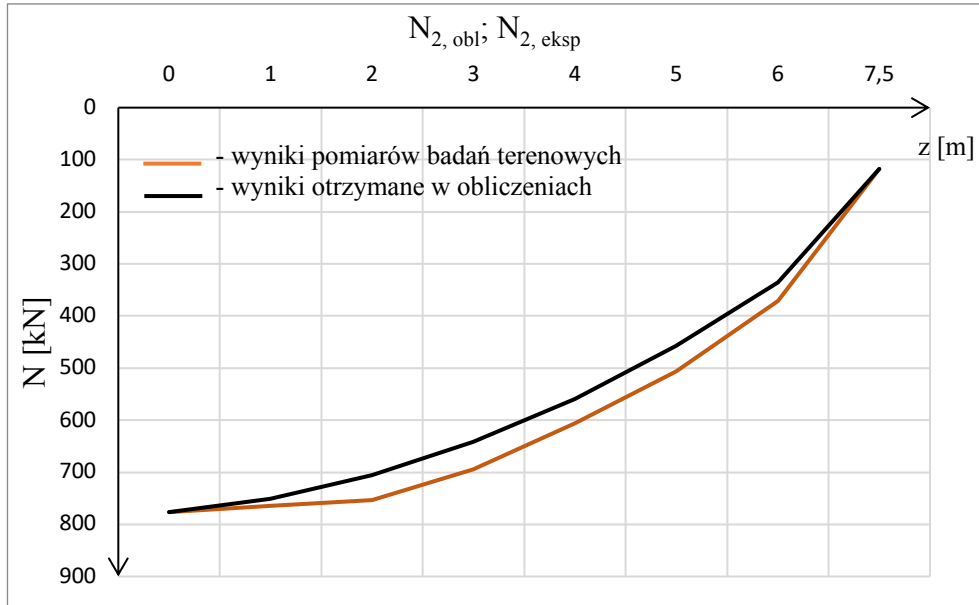


Załącznik 69a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 6;  $N_2 = 647 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

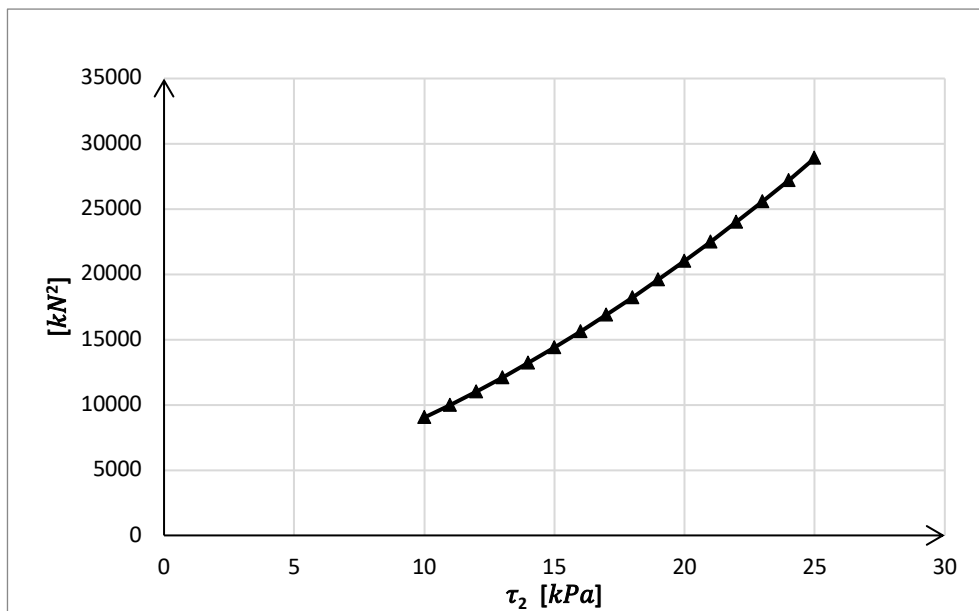


PAL 6;  $N_2 = 776 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 70 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6;  $N_2 = 776 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

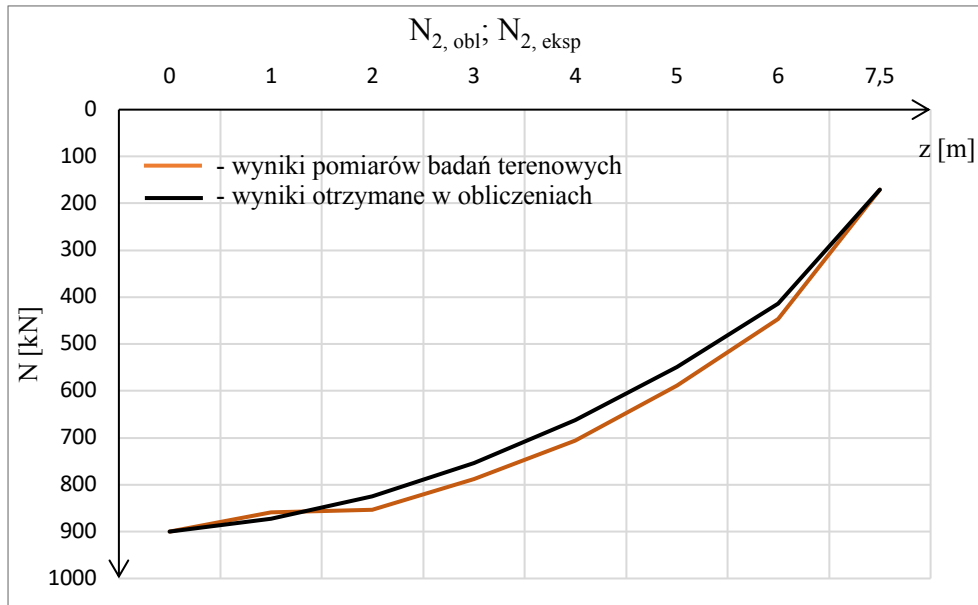


Zał. 70a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6;  $N_2 = 776 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

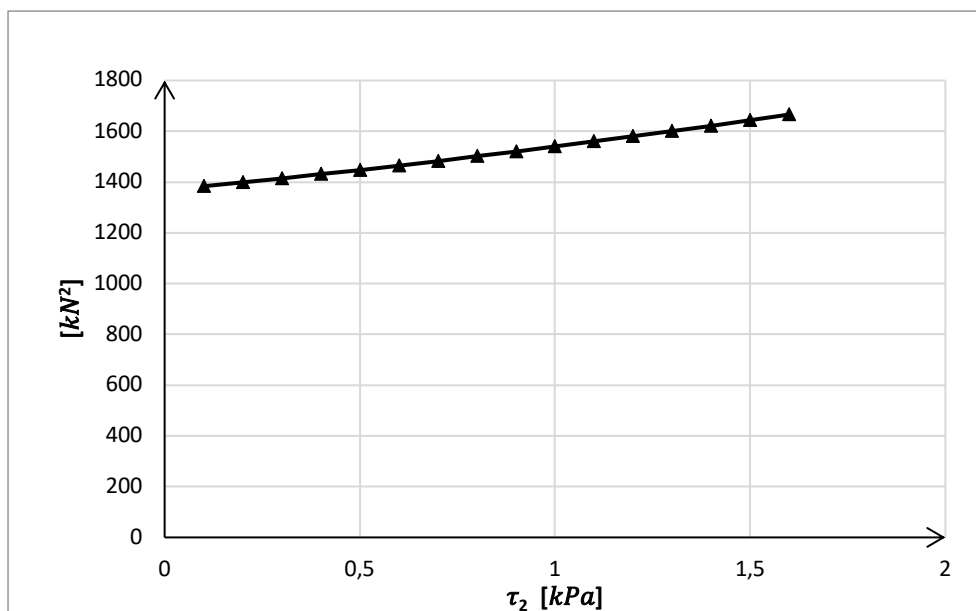


PAL 6;  $N_2 = 900 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 71 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 6;  $N_2 = 900 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

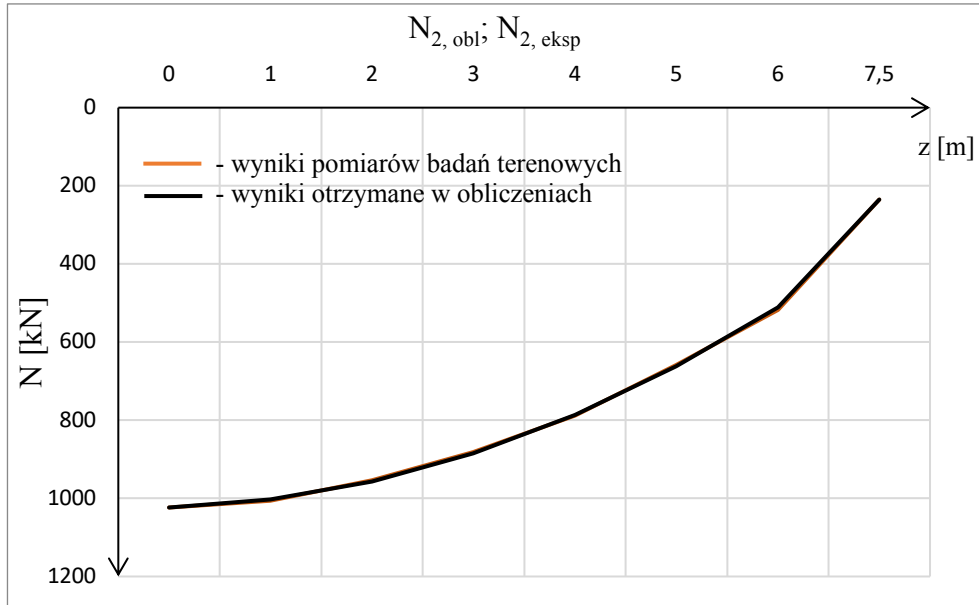


Zał. 71a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6;  $N_2 = 900 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

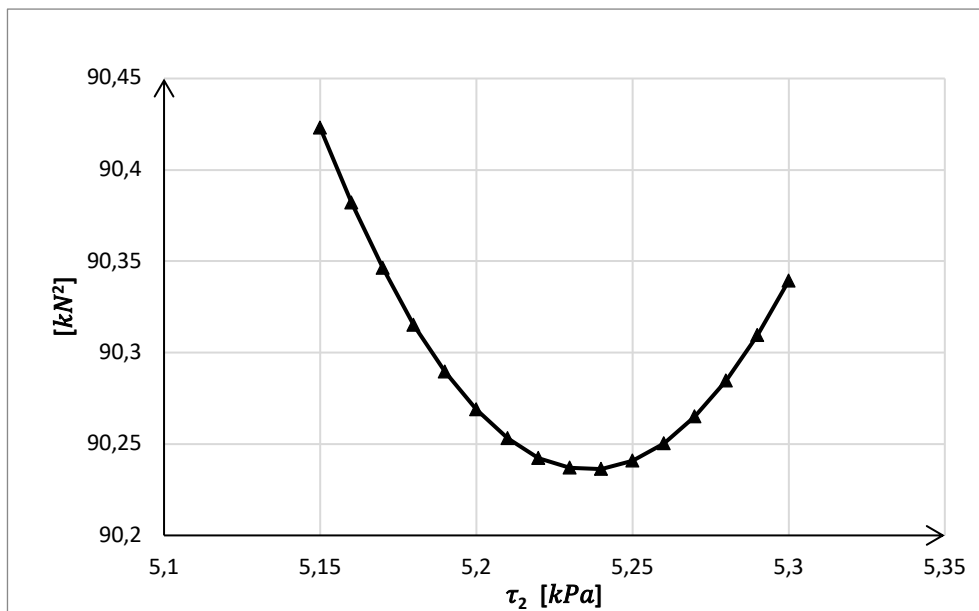


PAL 6;  $N_2 = 1023 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 72 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6;  $N_2 = 1023 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

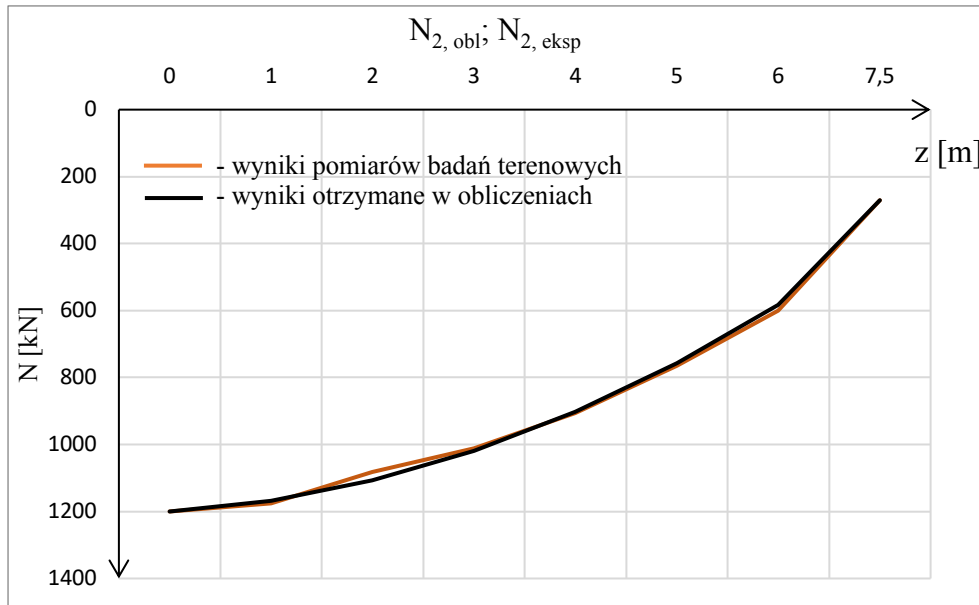


Zał. 72a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6;  $N_2 = 1023 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

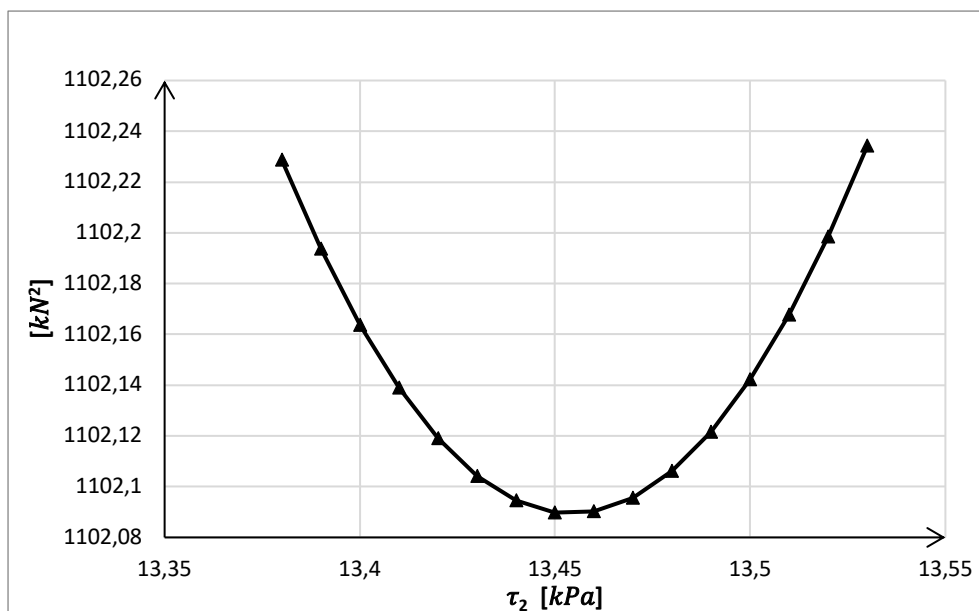


PAL 6;  $N_2 = 1200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 73 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 6;  $N_2 = 1200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała



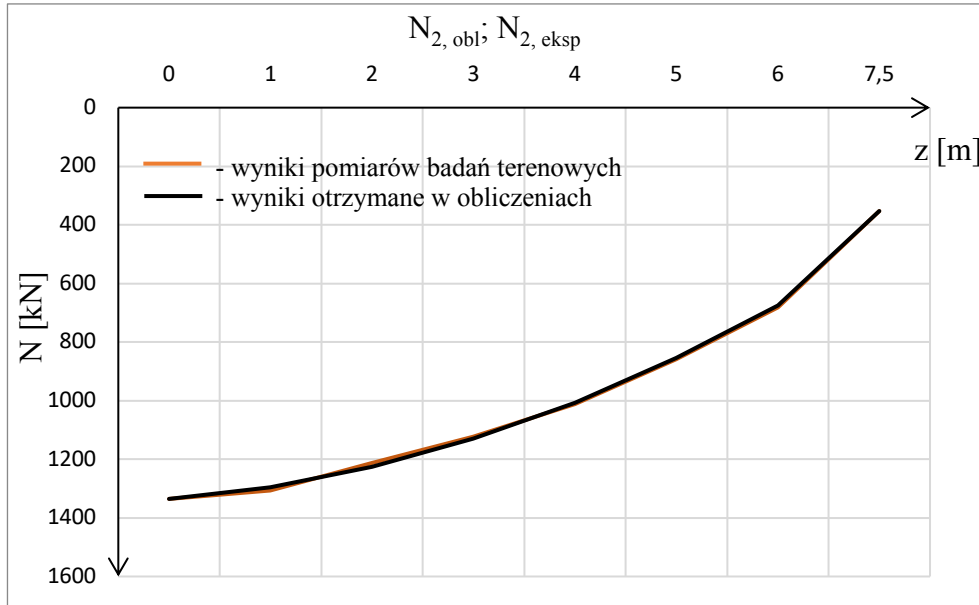
Zał. 73a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6;  $N_2 = 1200 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała



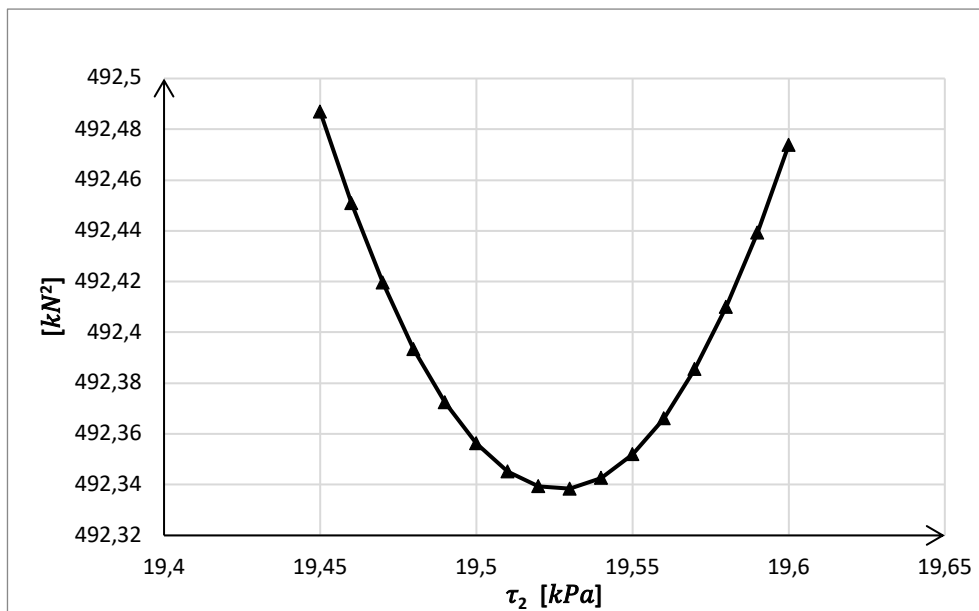


PAL 6;  $N_2 = 1335 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 74 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6;  $N_2 = 1335 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

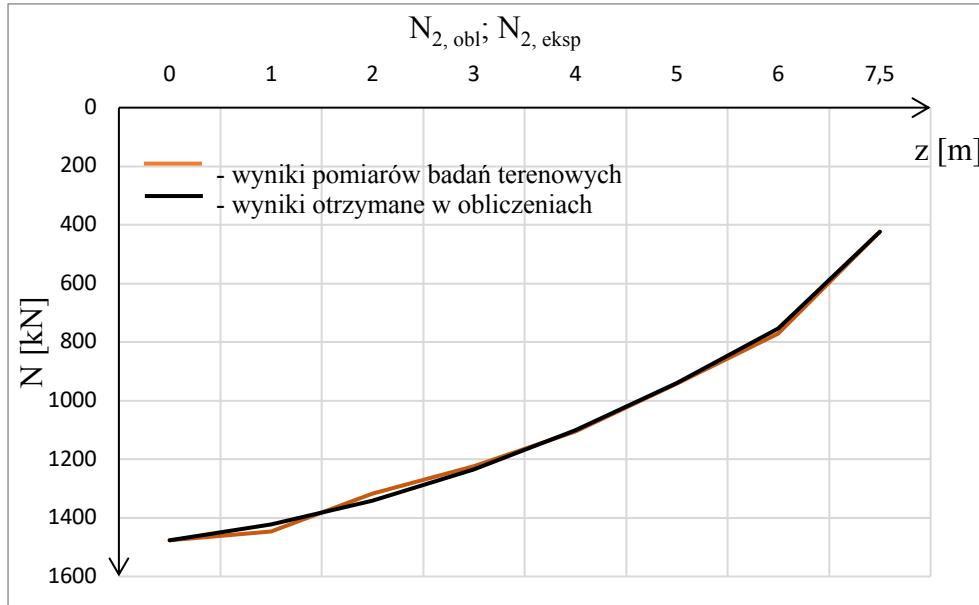


Zał. 74a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 6;  $N_2 = 1335 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

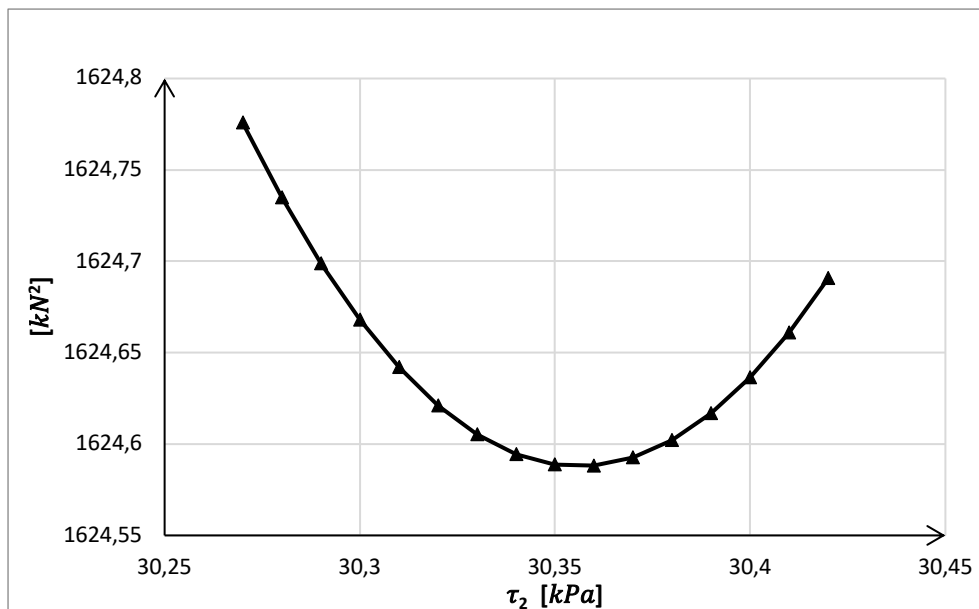


PAL 6;  $N_2 = 1476 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 75 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 6;  $N_2 = 1476 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

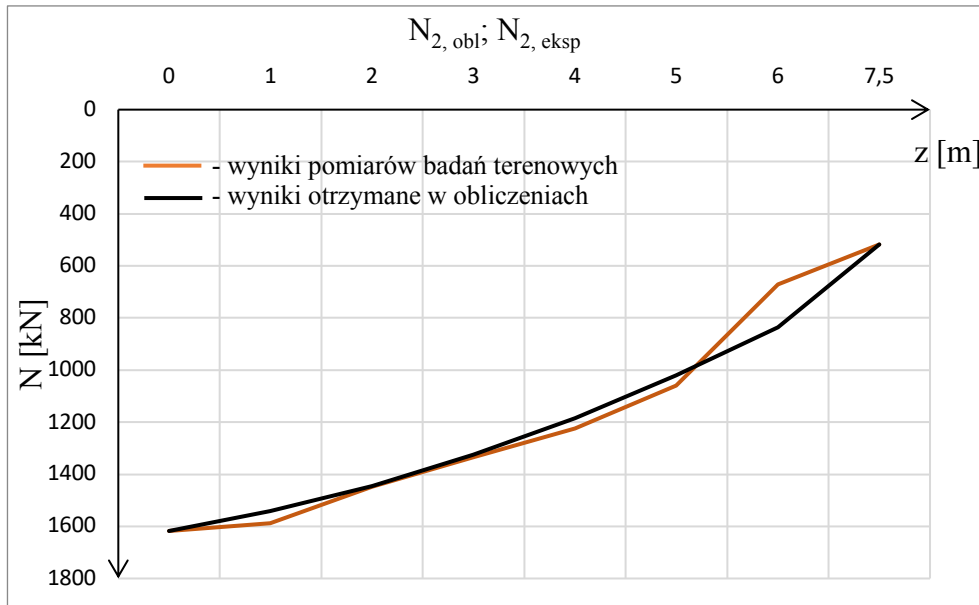


Zał. 75a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6;  $N_2 = 1476 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pała

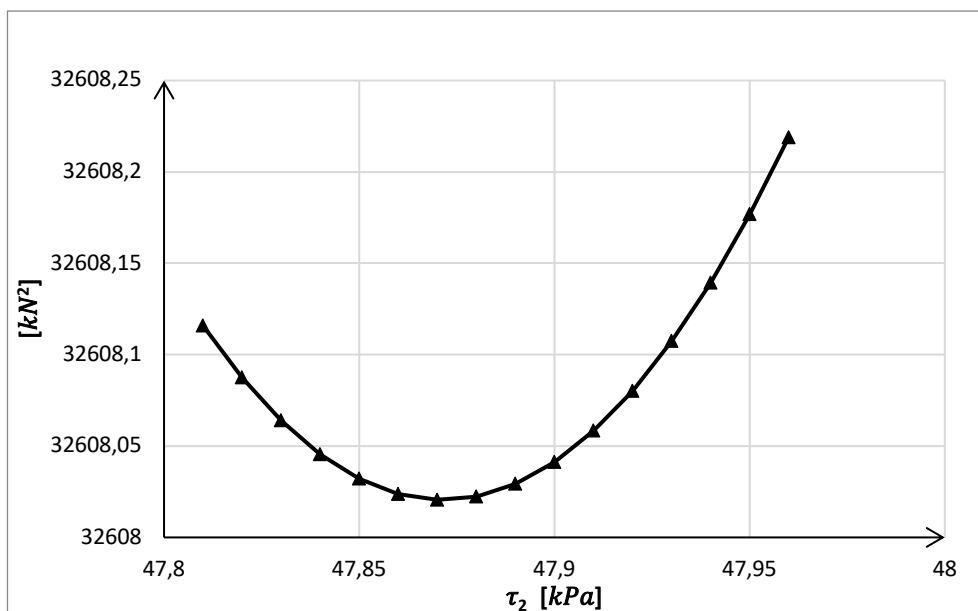


PAL 6;  $N_2 = 1617kN$  – siła przyłożona w głowicy pała

Zał. 76 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pała PAL 6;  $N_2 = 1617kN$  – siła przyłożona w głowicy pała

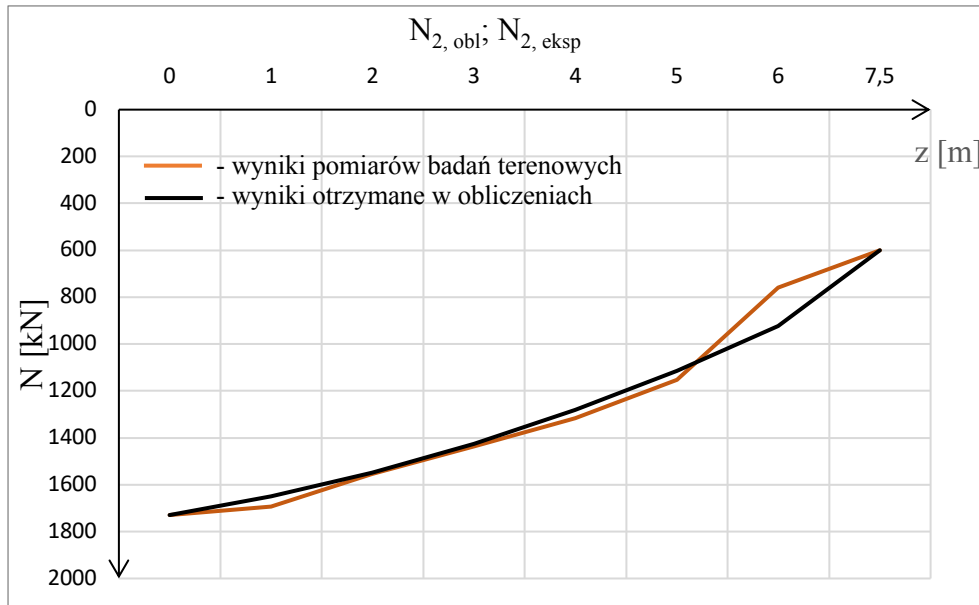


Zał. 76a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6;  $N_2 = 1617kN$  – siła przyłożona w głowicy pała

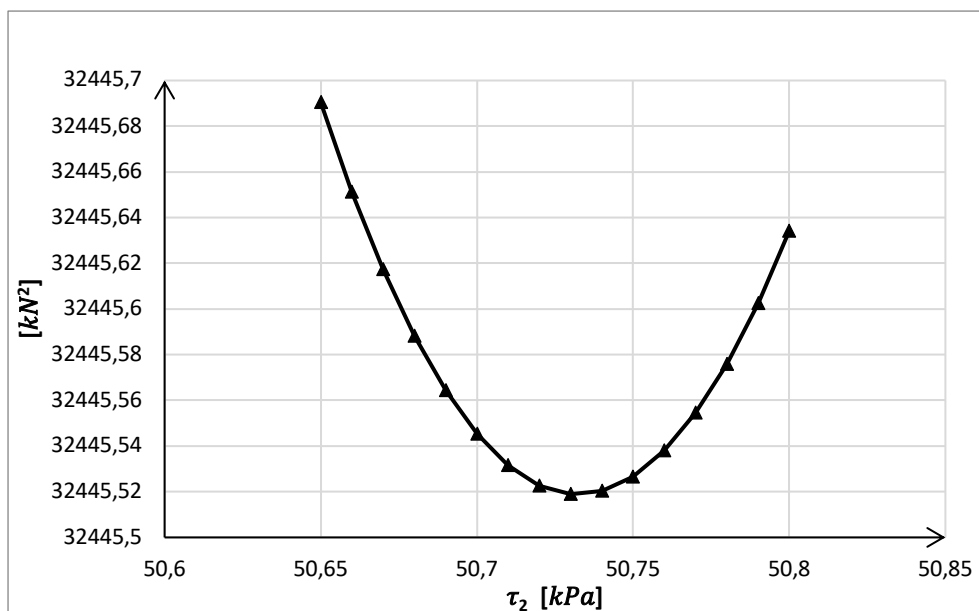


PAL 6;  $N_2 = 1729 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 77 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6;  $N_2 = 1729 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

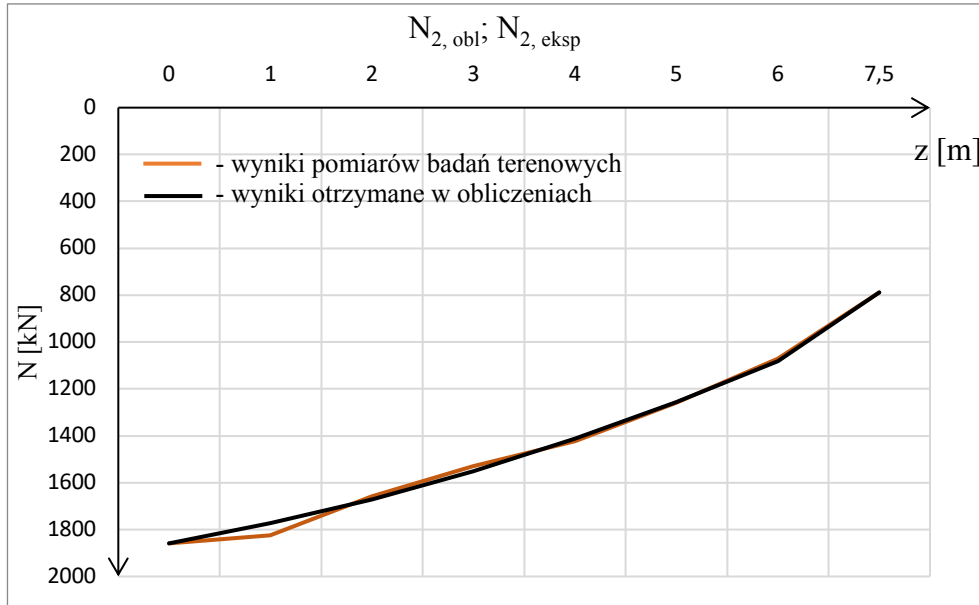


Zał. 77a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchyłek różnic PAL 6;  $N_2 = 1729 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

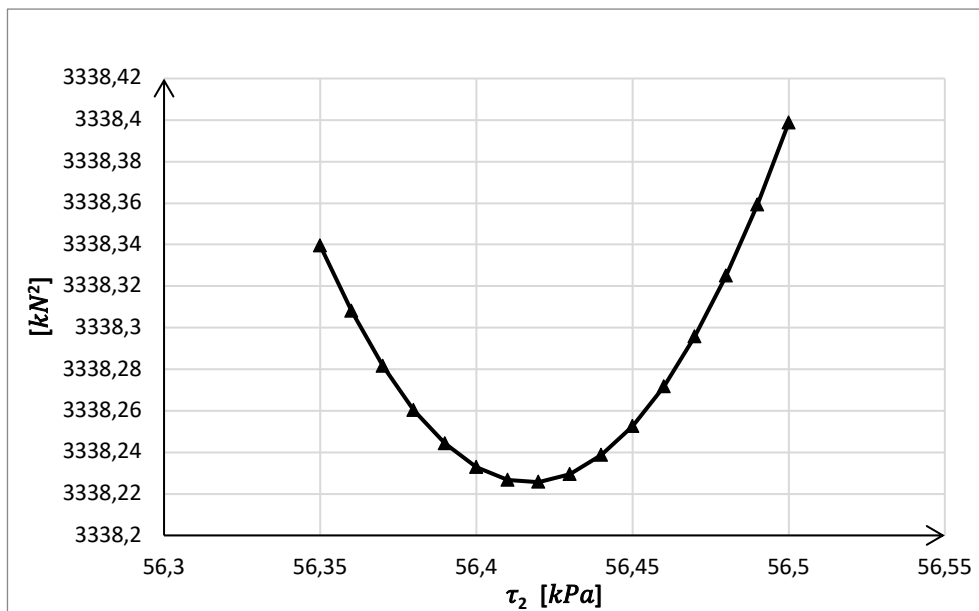


PAL 6;  $N_2 = 1858 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala

Zał. 78 Wykres obciążenie osiadanie dla przyłożonej siły w głowicy pala PAL 6;  $N_2 = 1858 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala



Zał. 78a Rozkład wyników najmniejszych sum kwadratów odchylek różnic PAL 6;  $N_2 = 1858 \text{ kN}$  – siła przyłożona w głowicy pala



Zał. 79a Wartości sił w trzonie Pała 1 cz. 1

METRYKA PALA:  
 Symbol: PAL 1  
 Długość 19,7 m  
 Średnica: 1.5 m

z [m]		N <sub>2,1</sub> [kN]	s <sub>1</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,2</sub> [kN]	s <sub>2</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,1</sub>	1082	0,26	1082,35	P <sub>1,1,2</sub>	2235	0,63	2235,00
2,00	P <sub>1,2,1</sub>			1035,29	P <sub>1,2,2</sub>			2000,00
4,00	P <sub>1,3,1</sub>			964,71	P <sub>1,3,2</sub>			1764,71
6,00	P <sub>1,4,1</sub>			870,59	P <sub>1,4,2</sub>			1552,94
8,00	P <sub>1,5,1</sub>			776,47	P <sub>1,5,2</sub>			1411,77
10,00	P <sub>1,6,1</sub>			705,88	P <sub>1,6,2</sub>			1317,65
12,00	P <sub>1,7,1</sub>			635,29	P <sub>1,7,2</sub>			1200,00
14,00	P <sub>1,8,1</sub>			564,71	P <sub>1,8,2</sub>			1120,00
16,00	P <sub>1,9,1</sub>			494,12	P <sub>1,9,2</sub>			964,71
18,00	P <sub>1,10,1</sub>			423,53	P <sub>1,10,2</sub>			823,53
19,70	P <sub>1,11,1</sub>	352,94	P <sub>1,11,2</sub>	729,41				
z [m]		N <sub>2,7</sub> [kN]	s <sub>7</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,8</sub> [kN]	s <sub>8</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,7</sub>	7576	5,79	7576	P <sub>1,1,8</sub>	8352	6,05	8352
2,00	P <sub>1,2,7</sub>			6611,76	P <sub>1,2,8</sub>			7458,83
4,00	P <sub>1,3,7</sub>			5952,94	P <sub>1,3,8</sub>			6588,24
6,00	P <sub>1,4,7</sub>			5200	P <sub>1,4,8</sub>			5764,71
8,00	P <sub>1,5,7</sub>			4658,82	P <sub>1,5,8</sub>			5176,47
10,00	P <sub>1,6,7</sub>			4235,29	P <sub>1,6,8</sub>			4611,76
12,00	P <sub>1,7,7</sub>			3788,24	P <sub>1,7,8</sub>			4117,65
14,00	P <sub>1,8,7</sub>			3411,76	P <sub>1,8,8</sub>			3694,12
16,00	P <sub>1,9,7</sub>			3058,82	P <sub>1,9,8</sub>			3411,75
18,00	P <sub>1,10,7</sub>			2705,88	P <sub>1,10,8</sub>			2941,18
19,70	P <sub>1,11,7</sub>	2470,59	P <sub>1,11,8</sub>	2705,88				

Zał. 79b Wartości sił w trzonie Pała 1 cz. 2

METRYKA PALA:  
 Symbol: PAL 1  
 Długość 19,7 m  
 Średnica: 1.5 m

z [m]		N <sub>2,3</sub> [kN]	s <sub>3</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,4</sub> [kN]	s <sub>4</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,3</sub>	3576	1,11	3576,00	P <sub>1,1,4</sub>	4470	1,84	4470,00
2,00	P <sub>1,2,3</sub>			2988,24	P <sub>1,2,4</sub>			4000,00
4,00	P <sub>1,3,3</sub>			2658,82	P <sub>1,3,4</sub>			3411,77
6,00	P <sub>1,4,3</sub>			2282,35	P <sub>1,4,4</sub>			2988,24
8,00	P <sub>1,5,3</sub>			2070,59	P <sub>1,5,4</sub>			2658,83
10,00	P <sub>1,6,3</sub>			1882,35	P <sub>1,6,4</sub>			2470,59
12,00	P <sub>1,7,3</sub>			1741,18	P <sub>1,7,4</sub>			2282,35
14,00	P <sub>1,8,3</sub>			1576,47	P <sub>1,8,4</sub>			2117,65
16,00	P <sub>1,9,3</sub>			1411,77	P <sub>1,9,4</sub>			1905,88
18,00	P <sub>1,10,3</sub>			1200,00	P <sub>1,10,4</sub>			1694,12
19,70	P <sub>1,11,3</sub>	1058,82	P <sub>1,11,4</sub>	1529,41				
z [m]		N <sub>2,9</sub> [kN]	s <sub>9</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,10</sub> [kN]	s <sub>10</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,9</sub>	9176	12,37	9176	P <sub>1,1,10</sub>	10000	17,9	10000
2,00	P <sub>1,2,9</sub>			8235,29	P <sub>1,2,10</sub>			8988,24
4,00	P <sub>1,3,9</sub>			7294,12	P <sub>1,3,10</sub>			8000
6,00	P <sub>1,4,9</sub>			6352,94	P <sub>1,4,10</sub>			6941,18
8,00	P <sub>1,5,9</sub>			5647,06	P <sub>1,5,10</sub>			6117,65
10,00	P <sub>1,6,9</sub>			5105,88	P <sub>1,6,10</sub>			5411,76
12,00	P <sub>1,7,9</sub>			4470,59	P <sub>1,7,10</sub>			4894,12
14,00	P <sub>1,8,9</sub>			4000	P <sub>1,8,10</sub>			4400
16,00	P <sub>1,9,9</sub>			3552,94	P <sub>1,9,10</sub>			3905,88
18,00	P <sub>1,10,9</sub>			3200	P <sub>1,10,10</sub>			3458,82
19,70	P <sub>1,11,9</sub>	2941,18	P <sub>1,11,10</sub>	3294,12				

Zał. 79c Wartości sił w trzonie Pala 1 cz. 3

METRYKA PALA:  
 Symbol: PAL 1  
 Długość 19,7 m  
 Średnica: 1.5 m

z [m]	N <sub>2,5</sub> [kN]	s <sub>5</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,6</sub> [kN]	s <sub>6</sub> [mm]	N [kN]
0,00	5588	2,63	5588,00	P <sub>1.1,6</sub>	6658	3,95	6658
2,00			4941,18	P <sub>1.2,6</sub>			6000
4,00			4352,91	P <sub>1.3,6</sub>			5529,41
6,00			3764,71	P <sub>1.4,6</sub>			4682,35
8,00			3411,77	P <sub>1.5,6</sub>			4141,18
10,00			3058,83	P <sub>1.6,6</sub>			3764,71
12,00			2823,53	P <sub>1.7,6</sub>			3317,65
14,00			2588,24	P <sub>1.8,6</sub>			3011,76
16,00			2352,94	P <sub>1.9,6</sub>			2705,88
18,00			2117,65	P <sub>1.10,6</sub>			2470,59
19,70			1929,41	P <sub>1.11,6</sub>			2282,35
z [m]	N <sub>2,10</sub> [kN]	s <sub>10</sub> [mm]	N [kN]				
0,00	11200	27,37	11200				
2,00			9941,18				
4,00			8705,88				
6,00			7435,29				
8,00			6470,59				
10,00			5705,88				
12,00			5176,47				
14,00			4705,88				
16,00			4235,29				
18,00			3882,35				
19,70			3647,06				

Zał. 80a Wartości sił w trzonie Pala 2 cz. 1

METRYKA PALA:  
 Symbol: PAL 2  
 Długość 19,7 m  
 Średnica: 1.5 m

z [m]		N <sub>2,1</sub> [kN]	s <sub>1</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,2</sub> [kN]	s <sub>2</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1.1,1</sub>	2250	0,7	2250	P <sub>1.1,2</sub>	3400	1,12	3400
2,00	P <sub>1.2,1</sub>			2000	P <sub>1.2,2</sub>			2974,35897
4,00	P <sub>1.3,1</sub>			1692,31	P <sub>1.3,2</sub>			2564,10256
6,00	P <sub>1.4,1</sub>			1435,9	P <sub>1.4,2</sub>			2205,12821
8,00	P <sub>1.5,1</sub>			1282,05	P <sub>1.5,2</sub>			2000
10,00	P <sub>1.6,1</sub>			1076,92	P <sub>1.6,2</sub>			1692,30769
12,00	P <sub>1.7,1</sub>			871,795	P <sub>1.7,2</sub>			1333,33333
14,00	P <sub>1.8,1</sub>			717,949	P <sub>1.8,2</sub>			1076,92308
16,00	P <sub>1.9,1</sub>			512,821	P <sub>1.9,2</sub>			769,230769
18,00	P <sub>1.10,1</sub>			307,692	P <sub>1.10,2</sub>			461,538462
19,70	P <sub>1.11,1</sub>			102,564	P <sub>1.11,2</sub>			153,846154
z [m]		N <sub>2,7</sub> [kN]	s <sub>7</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,8</sub> [kN]	s <sub>8</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1.1,7</sub>	8300	7,02	8300	P <sub>1.1,8</sub>	9200	9,99	9200
2,00	P <sub>1.2,7</sub>			7538,46	P <sub>1.2,8</sub>			8205,13
4,00	P <sub>1.3,7</sub>			6820,51	P <sub>1.3,8</sub>			7333,33
6,00	P <sub>1.4,7</sub>			6051,28	P <sub>1.4,8</sub>			6461,54
8,00	P <sub>1.5,7</sub>			5435,9	P <sub>1.5,8</sub>			5846,15
10,00	P <sub>1.6,7</sub>			4666,67	P <sub>1.6,8</sub>			5076,92
12,00	P <sub>1.7,7</sub>			3692,31	P <sub>1.7,8</sub>			4102,56
14,00	P <sub>1.8,7</sub>			2923,08	P <sub>1.8,8</sub>			3333,33
16,00	P <sub>1.9,7</sub>			2154,85	P <sub>1.9,8</sub>			2564,1
18,00	P <sub>1.10,7</sub>			1435,9	P <sub>1.10,8</sub>			1794,87
19,70	P <sub>1.11,7</sub>			769,231	P <sub>1.11,8</sub>			1076,92

Zał. 80b Wartości sił w trzonie Pala 2 cz. 2

METRYKA PALA:  
 Symbol: PAL 2  
 Długość 19,7 m  
 Średnica: 1.5 m

z [m]		N <sub>2,3</sub> [kN]	s <sub>3</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,4</sub> [kN]	s <sub>4</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1.1,3</sub>	4450	1,71	4450	P <sub>1.1,4</sub>	5600	2,78	5600
2,00	P <sub>1.2,3</sub>			4000	P <sub>1.2,4</sub>			5025,64103
4,00	P <sub>1.3,3</sub>			3487,17949	P <sub>1.3,4</sub>			4461,53846
6,00	P <sub>1.4,3</sub>			3025,64103	P <sub>1.4,4</sub>			3897,4359
8,00	P <sub>1.5,3</sub>			2666,66667	P <sub>1.5,4</sub>			3487,17949
10,00	P <sub>1.6,3</sub>			2256,41026	P <sub>1.6,4</sub>			2923,07692
12,00	P <sub>1.7,3</sub>			1794,87179	P <sub>1.7,4</sub>			2358,97436
14,00	P <sub>1.8,3</sub>			1435,89744	P <sub>1.8,4</sub>			1897,4359
16,00	P <sub>1.9,3</sub>			1025,64103	P <sub>1.9,4</sub>			1333,33333
18,00	P <sub>1.10,3</sub>			615,384615	P <sub>1.10,4</sub>			769,230769
19,70	P <sub>1.11,3</sub>			205,128205	P <sub>1.11,4</sub>			358,974359
z [m]		N <sub>2,9</sub> [kN]	s <sub>9</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,10</sub> [kN]	s <sub>10</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1.1,9</sub>	10000	13,94	10000	P <sub>1.1,10</sub>	11200	19,53	11200
2,00	P <sub>1.2,9</sub>			9820,51	P <sub>1.2,10</sub>			9692,31
4,00	P <sub>1.3,9</sub>			7794,87	P <sub>1.3,10</sub>			8461,54
6,00	P <sub>1.4,9</sub>			6974,36	P <sub>1.4,10</sub>			7384,62
8,00	P <sub>1.5,9</sub>			6205,13	P <sub>1.5,10</sub>			6666,67
10,00	P <sub>1.6,9</sub>			5487,18	P <sub>1.6,10</sub>			6000
12,00	P <sub>1.7,9</sub>			4615,38	P <sub>1.7,10</sub>			5076,92
14,00	P <sub>1.8,9</sub>			3846,15	P <sub>1.8,10</sub>			4256,41
16,00	P <sub>1.9,9</sub>			3076,92	P <sub>1.9,10</sub>			3538,46
18,00	P <sub>1.10,9</sub>			2307,69	P <sub>1.10,10</sub>			2820,51
19,70	P <sub>1.11,9</sub>			1641,03	P <sub>1.11,10</sub>			2153,85

Zał. 80c Wartości sił w trzonie Pala 2 cz. 3

METRYKA PALA:  
 Symbol: PAL 2  
 Długość 19,7 m  
 Średnica: 1.5 m

z [m]		N <sub>2,5</sub> [kN]	s <sub>5</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,6</sub> [kN]	s <sub>6</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1.1,5</sub>	6660	3,65	6660	P <sub>1.1,6</sub>	7385	5,16	7385
2,00	P <sub>1.2,5</sub>			6051,28205	P <sub>1.2,6</sub>			6666,66667
4,00	P <sub>1.3,5</sub>			5435,89744	P <sub>1.3,6</sub>			6051,28205
6,00	P <sub>1.4,5</sub>			4769,23077	P <sub>1.4,6</sub>			5333,33333
8,00	P <sub>1.5,5</sub>			4307,69231	P <sub>1.5,6</sub>			4820,51282
10,00	P <sub>1.6,5</sub>			3589,74359	P <sub>1.6,6</sub>			4102,5641
12,00	P <sub>1.7,5</sub>			2871,79487	P <sub>1.7,6</sub>			3230,76923
14,00	P <sub>1.8,5</sub>			2307,69231	P <sub>1.8,6</sub>			2564,10256
16,00	P <sub>1.9,5</sub>			1641,02564	P <sub>1.9,6</sub>			1897,4359
18,00	P <sub>1.10,5</sub>			974,358974	P <sub>1.10,6</sub>			1128,20513
19,70	P <sub>1.11,5</sub>			461,538462	P <sub>1.11,6</sub>			615,384615



Zał. 81a Wartości sił w trzonie Pala 3 cz. 1

METRYKA PALA:

Symbol: PAL 3  
 Długość 18,05 m  
 Średnica: 0,8 m

z [m]		N <sub>2,1</sub> [kN]	s <sub>1</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,2</sub> [kN]	s <sub>2</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1.1.1</sub>	400	0,28	400	P <sub>1.1.2</sub>	800	0,74	800
2,00	P <sub>1.2.1</sub>			380,95	P <sub>1.2.2</sub>			761,91
4,00	P <sub>1.3.1</sub>			285,71	P <sub>1.3.2</sub>			714,29
6,00	P <sub>1.4.1</sub>			238,09	P <sub>1.4.2</sub>			571,43
8,00	P <sub>1.5.1</sub>			190,48	P <sub>1.5.2</sub>			476,19
10,00	P <sub>1.6.1</sub>			142,86	P <sub>1.6.2</sub>			380,95
12,00	P <sub>1.7.1</sub>			95,24	P <sub>1.7.2</sub>			238,1
14,00	P <sub>1.8.1</sub>			57,14	P <sub>1.8.2</sub>			142,86
16,00	P <sub>1.9.1</sub>			47,62	P <sub>1.9.2</sub>			95,24
18,05	P <sub>1.10.1</sub>			28,57	P <sub>1.10.2</sub>			47,62
				Punkty				
z [m]		N <sub>2,7</sub> [kN]	s <sub>7</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,8</sub> [kN]	s <sub>8</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1.1.7</sub>	2800	2,83	2800	P <sub>1.1.8</sub>	3100	3,56	3100
2,00	P <sub>1.2.7</sub>			2761,9	P <sub>1.2.8</sub>			3047,62
4,00	P <sub>1.3.7</sub>			2476,2	P <sub>1.3.8</sub>			2809,52
6,00	P <sub>1.4.7</sub>			2047,6	P <sub>1.4.8</sub>			2333,33
8,00	P <sub>1.5.7</sub>			1761,9	P <sub>1.5.8</sub>			2000
10,00	P <sub>1.6.7</sub>			1528,8	P <sub>1.6.8</sub>			1761,91
12,00	P <sub>1.7.7</sub>			1238,1	P <sub>1.7.8</sub>			1428,57
14,00	P <sub>1.8.7</sub>			952,38	P <sub>1.8.8</sub>			1095,24
16,00	P <sub>1.9.7</sub>			714,29	P <sub>1.9.8</sub>			857,14
18,05	P <sub>1.10.7</sub>			380,95	P <sub>1.10.8</sub>			523,81
z [m]		N <sub>2,13</sub> [kN]	s <sub>13</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,14</sub> [kN]	s <sub>14</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1.1.13</sub>	4600	7,21	4600	P <sub>1.1.14</sub>	4900	8,28	4900
2,00	P <sub>1.2.13</sub>			4523,8	P <sub>1.2.14</sub>			4857,14
4,00	P <sub>1.3.13</sub>			4142,9	P <sub>1.3.14</sub>			4428,57
6,00	P <sub>1.4.13</sub>			3476,2	P <sub>1.4.14</sub>			3761,91
8,00	P <sub>1.5.13</sub>			3000	P <sub>1.5.14</sub>			3238,1
10,00	P <sub>1.6.13</sub>			2714,3	P <sub>1.6.14</sub>			2904,76
12,00	P <sub>1.7.13</sub>			2285,7	P <sub>1.7.14</sub>			2476,19
14,00	P <sub>1.8.13</sub>			1904,8	P <sub>1.8.14</sub>			2095,24
16,00	P <sub>1.9.13</sub>			1571,4	P <sub>1.9.14</sub>			1761,91
18,05	P <sub>1.10.13</sub>			1000	P <sub>1.10.14</sub>			1095,24

Zał. 81b Wartości sił w trzonie Pala 3 cz. 2

METRYKA PALA:  
 Symbol: PAL 3  
 Długość 18,05 m  
 Średnica: 0,8 m

z [m]		N <sub>2,3</sub> [kN]	s <sub>3</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,4</sub> [kN]	s <sub>4</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,3</sub>	1200	1,12	1200	P <sub>1,1,4</sub>	1600	1,27	1600
2,00	P <sub>1,2,3</sub>			1190,48	P <sub>1,2,4</sub>			1571,43
4,00	P <sub>1,3,3</sub>			1095,24	P <sub>1,3,4</sub>			1428,57
6,00	P <sub>1,4,3</sub>			857,14	P <sub>1,4,4</sub>			1142,86
8,00	P <sub>1,5,3</sub>			714,29	P <sub>1,5,4</sub>			976,19
10,00	P <sub>1,6,3</sub>			619,05	P <sub>1,6,4</sub>			857,14
12,00	P <sub>1,7,3</sub>			428,57	P <sub>1,7,4</sub>			619,05
14,00	P <sub>1,8,3</sub>			380,95	P <sub>1,8,4</sub>			476,19
16,00	P <sub>1,9,3</sub>			190,48	P <sub>1,9,4</sub>			285,71
18,05	P <sub>1,10,3</sub>			71,43	P <sub>1,10,4</sub>			116,67
z [m]		N <sub>2,9</sub> [kN]	s <sub>9</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,10</sub> [kN]	s <sub>10</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,9</sub>	3400	4,23	3400	P <sub>1,1,10</sub>	3700	4,75	3700
2,00	P <sub>1,2,9</sub>			3333,33	P <sub>1,2,10</sub>			3619,05
4,00	P <sub>1,3,9</sub>			3047,62	P <sub>1,3,10</sub>			3333,33
6,00	P <sub>1,4,9</sub>			2571,43	P <sub>1,4,10</sub>			2761,91
8,00	P <sub>1,5,9</sub>			2190,48	P <sub>1,5,10</sub>			2380,95
10,00	P <sub>1,6,9</sub>			1952,38	P <sub>1,6,10</sub>			2095,24
12,00	P <sub>1,7,9</sub>			1571,43	P <sub>1,7,10</sub>			1761,91
14,00	P <sub>1,8,9</sub>			1238,1	P <sub>1,8,10</sub>			1428,57
16,00	P <sub>1,9,9</sub>			1000	P <sub>1,9,10</sub>			1142,86
18,05	P <sub>1,10,9</sub>			571,43	P <sub>1,10,10</sub>			666,67
z [m]		N <sub>2,15</sub> [kN]	s <sub>15</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,16</sub> [kN]	s <sub>16</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,15</sub>	5200	9,42	5200	P <sub>1,1,16</sub>	5500	10,80	5500
2,00	P <sub>1,2,15</sub>			5142,86	P <sub>1,2,16</sub>			5428,57
4,00	P <sub>1,3,15</sub>			4714,29	P <sub>1,3,16</sub>			5000
6,00	P <sub>1,4,15</sub>			3952,38	P <sub>1,4,16</sub>			4238,1
8,00	P <sub>1,5,15</sub>			3428,57	P <sub>1,5,16</sub>			3714,29
10,00	P <sub>1,6,15</sub>			3142,86	P <sub>1,6,16</sub>			3380,95
12,00	P <sub>1,7,15</sub>			2714,29	P <sub>1,7,16</sub>			2952,38
14,00	P <sub>1,8,15</sub>			2285,71	P <sub>1,8,16</sub>			2523,81
16,00	P <sub>1,9,15</sub>			1952,38	P <sub>1,9,16</sub>			2190,48
18,05	P <sub>1,10,15</sub>			1190,48	P <sub>1,10,16</sub>			1333,33

Zał. 81c Wartości sił w trzonie Pala 3 cz. 3

METRYKA PALA:  
 Symbol: PAL 3  
 Długość 18,05 m  
 Średnica: 0,8 m

z [m]		N <sub>2,5</sub> [kN]	s <sub>5</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,6</sub> [kN]	s <sub>6</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,5</sub>	2000	1,76	2000	P <sub>1,1,6</sub>	2400	2,24	2400
2,00	P <sub>1,2,5</sub>			1952,38	P <sub>1,2,6</sub>			2333,33
4,00	P <sub>1,3,5</sub>			1809,52	P <sub>1,3,6</sub>			2142,86
6,00	P <sub>1,4,5</sub>			1476,19	P <sub>1,4,6</sub>			1761,91
8,00	P <sub>1,5,5</sub>			1190,48	P <sub>1,5,6</sub>			1476,19
10,00	P <sub>1,6,5</sub>			1095,24	P <sub>1,6,6</sub>			1333,33
12,00	P <sub>1,7,5</sub>			857,14	P <sub>1,7,6</sub>			1047,62
14,00	P <sub>1,8,5</sub>			619,05	P <sub>1,8,6</sub>			809,53
16,00	P <sub>1,9,5</sub>			428,57	P <sub>1,9,6</sub>			571,43
18,05	P <sub>1,10,5</sub>			190,48	P <sub>1,10,6</sub>			285,71
z [m]		N <sub>2,11</sub> [kN]	s <sub>11</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,12</sub> [kN]	s <sub>12</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,11</sub>	4000	5,64	4000	P <sub>1,1,12</sub>	4300	6,36	4300
2,00	P <sub>1,2,11</sub>			3904,76	P <sub>1,2,12</sub>			4238,09
4,00	P <sub>1,3,11</sub>			3619,05	P <sub>1,3,12</sub>			3857,14
6,00	P <sub>1,4,11</sub>			3000	P <sub>1,4,12</sub>			3238,1
8,00	P <sub>1,5,11</sub>			2571,43	P <sub>1,5,12</sub>			2809,52
10,00	P <sub>1,6,11</sub>			2285,71	P <sub>1,6,12</sub>			2476,19
12,00	P <sub>1,7,11</sub>			1904,76	P <sub>1,7,12</sub>			2095,24
14,00	P <sub>1,8,11</sub>			1523,81	P <sub>1,8,12</sub>			1714,29
16,00	P <sub>1,9,11</sub>			1285,71	P <sub>1,9,12</sub>			1428,57
18,05	P <sub>1,10,11</sub>			761,91	P <sub>1,10,12</sub>			904,76
z [m]		N <sub>2,17</sub> [kN]	s <sub>17</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,18</sub> [kN]	s <sub>18</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,17</sub>	5800	12,29	5800	P <sub>1,1,18</sub>	6100	14,05	6100
2,00	P <sub>1,2,17</sub>			5761,9	P <sub>1,2,18</sub>			6047,62
4,00	P <sub>1,3,17</sub>			5285,71	P <sub>1,3,18</sub>			5523,81
6,00	P <sub>1,4,17</sub>			4380,95	P <sub>1,4,18</sub>			4714,29
8,00	P <sub>1,5,17</sub>			3952,38	P <sub>1,5,18</sub>			4190,48
10,00	P <sub>1,6,17</sub>			3714,29	P <sub>1,6,18</sub>			3857,14
12,00	P <sub>1,7,17</sub>			3190,48	P <sub>1,7,18</sub>			3380,95
14,00	P <sub>1,8,17</sub>			2761,91	P <sub>1,8,18</sub>			2952,38
16,00	P <sub>1,9,17</sub>			2380,95	P <sub>1,9,18</sub>			2619,05
18,05	P <sub>1,10,17</sub>			1476,19	P <sub>1,10,18</sub>			1571,43

Zał. 82a Wartości sił w trzonie Pala 4 cz. 1

METRYKA PALA:

Symbol: PAL 4  
 Długość: 18,05 m  
 Średnica: 0,8 m

z [m]		N <sub>2,1</sub> [kN]	s <sub>1</sub> [mm]		N [kN]		N <sub>2,2</sub> [kN]	s <sub>2</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,1</sub>	300	0,2	0,54	300,00	P <sub>1,1,2</sub>	600	0,43	600,00
2,00	P <sub>1,2,1</sub>			0,47	261,11	P <sub>1,2,2</sub>			544,44
4,00	P <sub>1,3,1</sub>			0,4	222,22	P <sub>1,3,2</sub>			500,00
6,00	P <sub>1,4,1</sub>			0,36	200,00	P <sub>1,4,2</sub>			444,44
8,00	P <sub>1,5,1</sub>			0,3	166,67	P <sub>1,5,2</sub>			388,89
10,00	P <sub>1,6,1</sub>			0,22	122,22	P <sub>1,6,2</sub>			288,89
12,00	P <sub>1,7,1</sub>			0,2	111,11	P <sub>1,7,2</sub>			250,00
14,00	P <sub>1,8,1</sub>			0,1	55,56	P <sub>1,8,2</sub>			166,67
16,00	P <sub>1,9,1</sub>			0,07	38,89	P <sub>1,9,2</sub>			111,11
18,05	P <sub>1,10,1</sub>			0,02	11,11	P <sub>1,10,2</sub>			27,78
Punkty									
z [m]		N <sub>2,7</sub> [kN]	s <sub>7</sub> [mm]		N [kN]		N <sub>2,8</sub> [kN]	s <sub>8</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,7</sub>	2100	2,27	3,78	2100	P <sub>1,1,8</sub>	2400	2,89	2400,00
2,00	P <sub>1,2,7</sub>			3,56	1977,8	P <sub>1,2,8</sub>			2261,11
4,00	P <sub>1,3,7</sub>			3,26	1811,1	P <sub>1,3,8</sub>			2066,67
6,00	P <sub>1,4,7</sub>			2,98	1655,6	P <sub>1,4,8</sub>			1888,89
8,00	P <sub>1,5,7</sub>			2,6	1444,4	P <sub>1,5,8</sub>			1644,44
10,00	P <sub>1,6,7</sub>			2	1111,1	P <sub>1,6,8</sub>			1277,78
12,00	P <sub>1,7,7</sub>			1,8	1000	P <sub>1,7,8</sub>			1150,00
14,00	P <sub>1,8,7</sub>			1,55	861,11	P <sub>1,8,8</sub>			1000,00
16,00	P <sub>1,9,7</sub>			1,2	666,67	P <sub>1,9,8</sub>			805,56
18,05	P <sub>1,10,7</sub>			0,92	511,11	P <sub>1,10,8</sub>			611,11
z [m]		N <sub>2,13</sub> [kN]	s <sub>13</sub> [mm]		N [kN]		N <sub>2,14</sub> [kN]	s <sub>14</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,13</sub>	3900	8,85	7,02	3900	P <sub>1,1,14</sub>	4200	13,28	4200,00
2,00	P <sub>1,2,13</sub>			6,7	3722,2	P <sub>1,2,14</sub>			4055,56
4,00	P <sub>1,3,13</sub>			6	3333,3	P <sub>1,3,14</sub>			3788,89
6,00	P <sub>1,4,13</sub>			5,6	3111,1	P <sub>1,4,14</sub>			3122,22
8,00	P <sub>1,5,13</sub>			4,95	2750	P <sub>1,5,14</sub>			2944,44
10,00	P <sub>1,6,13</sub>			4,02	2233,3	P <sub>1,6,14</sub>			2416,67
12,00	P <sub>1,7,13</sub>			3,45	1916,7	P <sub>1,7,14</sub>			2038,89
14,00	P <sub>1,8,13</sub>			2,9	1611,1	P <sub>1,8,14</sub>			1694,44
16,00	P <sub>1,9,13</sub>			2,4	1333,3	P <sub>1,9,14</sub>			1388,89
18,05	P <sub>1,10,13</sub>			2	1111,1	P <sub>1,10,14</sub>			1166,67

Zał. 82b Wartości sił w trzonie Pała 4 cz. 2

METRYKA PAŁA:

Symbol: PAL 4  
Długość 18,05 m  
Średnica: 0,8 m

z [m]		N <sub>2,3</sub> [kN]	s <sub>3</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,4</sub> [kN]	s <sub>4</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,3</sub>	900	0,7	900,00	P <sub>1,1,4</sub>	1200	0,98	1200,00
2,00	P <sub>1,2,3</sub>			861,11	P <sub>1,2,4</sub>			1161,11
4,00	P <sub>1,3,3</sub>			777,78	P <sub>1,3,4</sub>			1055,56
6,00	P <sub>1,4,3</sub>			722,22	P <sub>1,4,4</sub>			977,78
8,00	P <sub>1,5,3</sub>			638,89	P <sub>1,5,4</sub>			833,33
10,00	P <sub>1,6,3</sub>			494,44	P <sub>1,6,4</sub>			633,33
12,00	P <sub>1,7,3</sub>			405,56	P <sub>1,7,4</sub>			527,78
14,00	P <sub>1,8,3</sub>			300,00	P <sub>1,8,4</sub>			444,44
16,00	P <sub>1,9,3</sub>			166,67	P <sub>1,9,4</sub>			416,67
18,05	P <sub>1,10,3</sub>			83,33	P <sub>1,10,4</sub>			166,67
z [m]		N <sub>2,9</sub> [kN]	s <sub>9</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,10</sub> [kN]	s <sub>10</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,9</sub>	2700	3,6	2700,00	P <sub>1,1,10</sub>	3000	4,42	3000,00
2,00	P <sub>1,2,9</sub>			2544,44	P <sub>1,2,10</sub>			2777,78
4,00	P <sub>1,3,9</sub>			2338,89	P <sub>1,3,10</sub>			2611,11
6,00	P <sub>1,4,9</sub>			2116,67	P <sub>1,4,10</sub>			2388,89
8,00	P <sub>1,5,9</sub>			1833,33	P <sub>1,5,10</sub>			2055,56
10,00	P <sub>1,6,9</sub>			1488,89	P <sub>1,6,10</sub>			1666,67
12,00	P <sub>1,7,9</sub>			1311,11	P <sub>1,7,10</sub>			1472,22
14,00	P <sub>1,8,9</sub>			1111,11	P <sub>1,8,10</sub>			1250,00
16,00	P <sub>1,9,9</sub>			916,67	P <sub>1,9,10</sub>			1000,00
18,05	P <sub>1,10,9</sub>			700,00	P <sub>1,10,10</sub>			861,11
z [m]		N <sub>2,15</sub> [kN]	s <sub>15</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,16</sub> [kN]	s <sub>16</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,15</sub>	4500	18,3	4500,00	P <sub>1,1,16</sub>	4800	25,46	4800,00
2,00	P <sub>1,2,15</sub>			4361,11	P <sub>1,2,16</sub>			4361,11
4,00	P <sub>1,3,15</sub>			4111,11	P <sub>1,3,16</sub>			4222,22
6,00	P <sub>1,4,15</sub>			3666,67	P <sub>1,4,16</sub>			3777,78
8,00	P <sub>1,5,15</sub>			3166,67	P <sub>1,5,16</sub>			3305,56
10,00	P <sub>1,6,15</sub>			2583,33	P <sub>1,6,16</sub>			2722,22
12,00	P <sub>1,7,15</sub>			2166,67	P <sub>1,7,16</sub>			2277,78
14,00	P <sub>1,8,15</sub>			1833,33	P <sub>1,8,16</sub>			1888,89
16,00	P <sub>1,9,15</sub>			1500,00	P <sub>1,9,16</sub>			1555,56
18,05	P <sub>1,10,15</sub>			1288,89	P <sub>1,10,16</sub>			1305,56

Zał. 82c Wartości sił w trzonie Pała 4 cz. 3

METRYKA PAŁA:

Symbol: PAL 4  
Długość 18,05 m  
Średnica: 0,8 m

z [m]		N <sub>2,5</sub> [kN]	s <sub>5</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,6</sub> [kN]	s <sub>6</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,5</sub>	1500	1,28	1500,00	P <sub>1,1,6</sub>	1800	1,69	1800,00
2,00	P <sub>1,2,5</sub>			1400,00	P <sub>1,2,6</sub>			1677,78
4,00	P <sub>1,3,5</sub>			1288,89	P <sub>1,3,6</sub>			1555,56
6,00	P <sub>1,4,5</sub>			1172,22	P <sub>1,4,6</sub>			1433,33
8,00	P <sub>1,5,5</sub>			1027,78	P <sub>1,5,6</sub>			1250,00
10,00	P <sub>1,6,5</sub>			794,44	P <sub>1,6,6</sub>			955,56
12,00	P <sub>1,7,5</sub>			716,67	P <sub>1,7,6</sub>			866,67
14,00	P <sub>1,8,5</sub>			566,67	P <sub>1,8,6</sub>			700,00
16,00	P <sub>1,9,5</sub>			427,78	P <sub>1,9,6</sub>			511,11
18,05	P <sub>1,10,5</sub>			350,00	P <sub>1,10,6</sub>			377,78
z [m]		N <sub>2,11</sub> [kN]	s <sub>11</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,12</sub> [kN]	s <sub>12</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,11</sub>	3300	5,48	3300,00	P <sub>1,1,12</sub>	3600	6,83	3600,00
2,00	P <sub>1,2,11</sub>			3111,11	P <sub>1,2,12</sub>			3433,33
4,00	P <sub>1,3,11</sub>			2888,89	P <sub>1,3,12</sub>			3166,67
6,00	P <sub>1,4,11</sub>			2611,11	P <sub>1,4,12</sub>			2833,33
8,00	P <sub>1,5,11</sub>			2277,78	P <sub>1,5,12</sub>			2472,22
10,00	P <sub>1,6,11</sub>			1833,33	P <sub>1,6,12</sub>			2222,22
12,00	P <sub>1,7,11</sub>			1583,33	P <sub>1,7,12</sub>			1722,22
14,00	P <sub>1,8,11</sub>			1361,11	P <sub>1,8,12</sub>			1483,33
16,00	P <sub>1,9,11</sub>			1111,11	P <sub>1,9,12</sub>			1233,33
18,05	P <sub>1,10,11</sub>			900,00	P <sub>1,10,12</sub>			1011,11

Zał. 83 Wartości sił w trzonie Pała 5

METRYKA PALA:  
 Symbol: PAL 5  
 Długość: 5,53 m  
 Średnica: 0,43 m

z [m]		N <sub>2,1</sub> [kN]	s <sub>1</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,5</sub> [kN]	s <sub>5</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,1</sub>	150	0,396	150	P <sub>1,1,5</sub>	745	19,8731319	745,00
0,75	P <sub>1,2,1</sub>			145	P <sub>1,2,5</sub>			693,23
1,50	P <sub>1,3,1</sub>			131,19	P <sub>1,3,5</sub>			598,52
2,30	P <sub>1,4,1</sub>			117,35	P <sub>1,4,5</sub>			503,81
3,30	P <sub>1,5,1</sub>			108,82	P <sub>1,5,5</sub>			446,01
4,30	P <sub>1,6,1</sub>			100,27	P <sub>1,6,5</sub>			388,19
5,00	P <sub>1,7,1</sub>			88,44	P <sub>1,7,5</sub>			346,15
5,53	P <sub>1,8,1</sub>			75	P <sub>1,8,5</sub>			305,00
z [m]		N <sub>2,2</sub> [kN]	s <sub>2</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,6</sub> [kN]	s <sub>6</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,2</sub>	301	1,97	301,00	P <sub>1,1,6</sub>	817	30,2359714	817,00
0,75	P <sub>1,2,2</sub>			280,00	P <sub>1,2,6</sub>			774,02
1,50	P <sub>1,3,2</sub>			244,98	P <sub>1,3,6</sub>			664,64
2,30	P <sub>1,4,2</sub>			209,96	P <sub>1,4,6</sub>			555,25
3,30	P <sub>1,5,2</sub>			187,54	P <sub>1,5,6</sub>			493,78
4,30	P <sub>1,6,2</sub>			165,13	P <sub>1,6,6</sub>			432,31
5,00	P <sub>1,7,2</sub>			151,57	P <sub>1,7,6</sub>			393,09
5,53	P <sub>1,8,2</sub>			135	P <sub>1,8,6</sub>			350,00
z [m]		N <sub>2,3</sub> [kN]	s <sub>3</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,7</sub> [kN]	s <sub>7</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,3</sub>	445	5,023	445,00	P <sub>1,1,7</sub>	893	46,9229564	893
0,75	P <sub>1,2,3</sub>			410,00	P <sub>1,2,7</sub>			848,31
1,50	P <sub>1,3,3</sub>			358,68	P <sub>1,3,7</sub>			728,8
2,30	P <sub>1,4,3</sub>			307,37	P <sub>1,4,7</sub>			609,49
3,30	P <sub>1,5,3</sub>			274,36	P <sub>1,5,7</sub>			544,88
4,30	P <sub>1,6,3</sub>			241,35	P <sub>1,6,7</sub>			480,27
5,00	P <sub>1,7,3</sub>			216,78	P <sub>1,7,7</sub>			443,52
5,53	P <sub>1,8,3</sub>			190,00	P <sub>1,8,7</sub>			405
z [m]		N <sub>2,4</sub> [kN]	s <sub>4</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,8</sub> [kN]	s <sub>8</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1,1,4</sub>	596	9,837	596,00	P <sub>1,1,8</sub>	963	70,040846	963,00
0,75	P <sub>1,2,4</sub>			550,00	P <sub>1,2,8</sub>			908,21
1,50	P <sub>1,3,4</sub>			477,47	P <sub>1,3,8</sub>			784,96
2,30	P <sub>1,4,4</sub>			404,95	P <sub>1,4,8</sub>			661,72
3,30	P <sub>1,5,4</sub>			39,97	P <sub>1,5,8</sub>			594,43
4,30	P <sub>1,6,4</sub>			34,99	P <sub>1,6,8</sub>			527,14
5,00	P <sub>1,7,4</sub>			278,09	P <sub>1,7,8</sub>			494,69
5,53	P <sub>1,8,4</sub>			240,00	P <sub>1,8,8</sub>			455,00

Zał. 84a Wartości sił w trzonie Pala 6 cz. 1

METRYKA PALA:  
 Symbol: PAL 6  
 Długość: 7,50 m  
 Średnica: 0,43 m

z [m]		N <sub>2,1</sub> [kN]	s <sub>1</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,2</sub> [kN]	s <sub>2</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1.1.1</sub>	1858,83	21,33	1858,8	P <sub>1.1.2</sub>	1729,41	17,71	1729,41
1,00	P <sub>1.2.1</sub>			1823,5	P <sub>1.2.2</sub>			1694,12
2,00	P <sub>1.3.1</sub>			1658,8	P <sub>1.3.2</sub>			1552,94
3,00	P <sub>1.4.1</sub>			1529,4	P <sub>1.4.2</sub>			1435,29
4,00	P <sub>1.5.1</sub>			1423,5	P <sub>1.5.2</sub>			1317,65
5,00	P <sub>1.6.1</sub>			1258,8	P <sub>1.6.2</sub>			1152,94
6,00	P <sub>1.7.1</sub>			1070,6	P <sub>1.7.2</sub>			758,82
7,50	P <sub>1.8.1</sub>			788,24	P <sub>1.8.2</sub>			600,00
z [m]		N <sub>2,7</sub> [kN]	s <sub>7</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,8</sub> [kN]	s <sub>8</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1.1.7</sub>	1023,53	5,63	1023,5	P <sub>1.1.8</sub>	900	4,38	900,00
1,00	P <sub>1.2.7</sub>			1005,9	P <sub>1.2.8</sub>			858,82
2,00	P <sub>1.3.7</sub>			952,94	P <sub>1.3.8</sub>			852,94
3,00	P <sub>1.4.7</sub>			882,35	P <sub>1.4.8</sub>			788,24
4,00	P <sub>1.5.7</sub>			788,24	P <sub>1.5.8</sub>			705,88
5,00	P <sub>1.6.7</sub>			658,82	P <sub>1.6.8</sub>			588,24
6,00	P <sub>1.7.7</sub>			517,65	P <sub>1.7.8</sub>			447,06
7,50	P <sub>1.8.7</sub>			235,29	P <sub>1.8.8</sub>			170,59
z [m]		N <sub>2,13</sub> [kN]	s <sub>13</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,14</sub> [kN]	s <sub>14</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1.1.13</sub>	294,12	0,54	294,12	P <sub>1.1.14</sub>	205,88	0,41	205,882353
1,00	P <sub>1.2.13</sub>			288,24	P <sub>1.2.14</sub>			200
2,00	P <sub>1.3.13</sub>			285,88	P <sub>1.3.14</sub>			188,235294
3,00	P <sub>1.4.13</sub>			270,59	P <sub>1.4.14</sub>			176,470588
4,00	P <sub>1.5.13</sub>			235,29	P <sub>1.5.14</sub>			152,941176
5,00	P <sub>1.6.13</sub>			188,24	P <sub>1.6.14</sub>			129,411765
6,00	P <sub>1.7.13</sub>			127,06	P <sub>1.7.14</sub>			82,3529412
7,50	P <sub>1.8.13</sub>			25,882	P <sub>1.8.14</sub>			17,6470588

Zał. 84b Wartości sił w trzonie Pala 6 cz. 2

METRYKA PALA:  
 Symbol: PAL 6  
 Długość: 7,50 m  
 Średnica: 0,43 m

z [m]		N <sub>2,3</sub> [kN]	s <sub>3</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,4</sub> [kN]	s <sub>4</sub> [mm]	N [kN]	
0,00	P <sub>1.1.3</sub>	1617,65	14,58	1617,65	P <sub>1.1.4</sub>	1476,47	11,75	1476,47	
1,00	P <sub>1.2.3</sub>			1588,24	P <sub>1.2.4</sub>			1447,06	
2,00	P <sub>1.3.3</sub>			1447,06	P <sub>1.3.4</sub>			1317,65	
3,00	P <sub>1.4.3</sub>			1335,29	P <sub>1.4.4</sub>			1223,53	
4,00	P <sub>1.5.3</sub>			1223,53	P <sub>1.5.4</sub>			1105,88	
5,00	P <sub>1.6.3</sub>			1058,82	P <sub>1.6.4</sub>			941,18	
6,00	P <sub>1.7.3</sub>			670,59	P <sub>1.7.4</sub>			770,59	
7,50	P <sub>1.8.3</sub>			517,65	P <sub>1.8.4</sub>			423,53	
z [m]		N <sub>2,9</sub> [kN]	s <sub>9</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,10</sub> [kN]	s <sub>10</sub> [mm]	N [kN]	
0,00	P <sub>1.1.9</sub>	776,47	3,3	776,47	P <sub>1.1.10</sub>	647,06	2,38	647,06	
1,00	P <sub>1.2.9</sub>			764,71	P <sub>1.2.10</sub>			658,82	
2,00	P <sub>1.3.9</sub>			752,94	P <sub>1.3.10</sub>			647,06	
3,00	P <sub>1.4.9</sub>			694,12	P <sub>1.4.10</sub>			576,47	
4,00	P <sub>1.5.9</sub>			605,88	P <sub>1.5.10</sub>			517,65	
5,00	P <sub>1.6.9</sub>			505,88	P <sub>1.6.10</sub>			423,53	
6,00	P <sub>1.7.9</sub>			370,59	P <sub>1.7.10</sub>			311,76	
7,50	P <sub>1.8.9</sub>			117,65	P <sub>1.8.10</sub>			82,35	
z [m]		N <sub>2,15</sub> [kN]	s <sub>15</sub> [mm]	N [kN]				N [kN]	
0,00	P <sub>1.1.15</sub>	94,12	0,21	94,1176471					
1,00	P <sub>1.2.15</sub>			92,9411765					
2,00	P <sub>1.3.15</sub>			91,7647059					
3,00	P <sub>1.4.15</sub>			82,3529412					
4,00	P <sub>1.5.15</sub>			76,4705882					
5,00	P <sub>1.6.15</sub>			64,7058824					
6,00	P <sub>1.7.15</sub>			41,1764706					
7,50	P <sub>1.8.15</sub>			11,7647059					

Zał. 84c Wartości sił w trzonie Pala 6 cz. 3

METRYKA PALA:  
 Symbol: PAL 6  
 Długość 7,50 m  
 Średnica: 0,43 m

z [m]		N <sub>2,5</sub> [kN]	s <sub>5</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,6</sub> [kN]	s <sub>6</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1.1.5</sub>	1335,29	9,58	1335,29	P <sub>1.1.6</sub>	1200	7,5	1200,00
1,00	P <sub>1.2.5</sub>			1305,88	P <sub>1.2.6</sub>			1176,47
2,00	P <sub>1.3.5</sub>			1211,76	P <sub>1.3.6</sub>			1082,35
3,00	P <sub>1.4.5</sub>			1123,53	P <sub>1.4.6</sub>			1011,76
4,00	P <sub>1.5.5</sub>			1011,76	P <sub>1.5.6</sub>			905,88
5,00	P <sub>1.6.5</sub>			858,82	P <sub>1.6.6</sub>			764,71
6,00	P <sub>1.7.5</sub>			682,35	P <sub>1.7.6</sub>			600,00
7,50	P <sub>1.8.5</sub>			352,94	P <sub>1.8.6</sub>			270,59
z [m]		N <sub>2,11</sub> [kN]	s <sub>11</sub> [mm]	N [kN]		N <sub>2,12</sub> [kN]	s <sub>12</sub> [mm]	N [kN]
0,00	P <sub>1.1.11</sub>	535,29	1,46	535,29	P <sub>1.1.12</sub>	411,77	0,87	411,76
1,00	P <sub>1.2.11</sub>			529,41	P <sub>1.2.12</sub>			405,88
2,00	P <sub>1.3.11</sub>			523,53	P <sub>1.3.12</sub>			394,12
3,00	P <sub>1.4.11</sub>			482,35	P <sub>1.4.12</sub>			376,47
4,00	P <sub>1.5.11</sub>			423,53	P <sub>1.5.12</sub>			329,41
5,00	P <sub>1.6.11</sub>			347,06	P <sub>1.6.12</sub>			276,47
6,00	P <sub>1.7.11</sub>			245,88	P <sub>1.7.12</sub>			188,24
7,50	P <sub>1.8.11</sub>			61,18	P <sub>1.8.12</sub>			35,29