

## Testy terenowe prototypowego świdra DPDT do formowania pali i kolumn przemieszczeniowych wkręcanych

Dr inż. Andrzej Słabek – BUDOKOP GEOTECHNIKA Sp. z o.o.

Dr hab. inż. Adam Krasiński, prof. PG – Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Technologia wykonania pali i kolumn przemieszczeniowych wkręcanych ma swoje początki w latach 80. XX wieku. W Europie Zachodniej (głównie: Belgia i Francja) zaczęto rozwijać nowe technologie wykonywania pali formowanych w gruncie, które trafiły następnie do Polski i zyskały dużą popularność. Technologia ta okazała się konkurencyjna w porównaniu do klasycznych pali fundamentowych oraz do metod wzmacniania podłoża gruntowego, szczególnie czasochłonnych metod konsolidacyjnych. Technologie wykonywania omawianych pali opisano między innymi w pracach [1, 2], a zasady obliczania i projektowania różnymi metodami, w tym metodą autorską, w pracach [2, 3, 4].

Pomimo niewątpliwych zalet, pale i kolumny przemieszczeniowe wkręcane sprawiają również problemy, zarówno wykonawcze, jak i projektowe. Podstawowym problemem wyko-

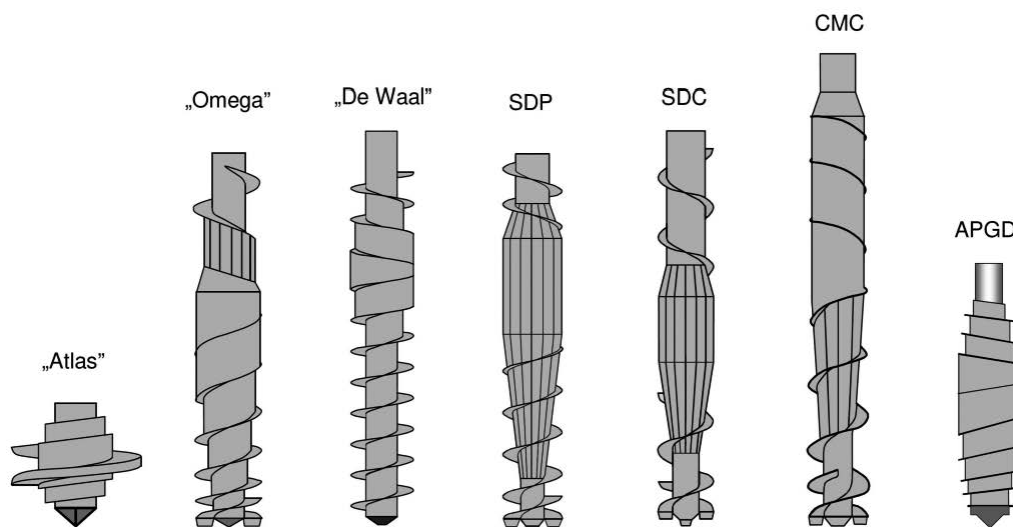
nawczym są duże opory pogrążania świdra w grunt, przez co konieczne jest stosowanie wiertnic o dużej mocy (dużym momencie obrotowym). Problemy te występują głównie w gruntach niespoistych o dużym zagęszczeniu oraz w gruntach spoistych w stanie twardoplastycznym lub zwartym. Duże opory wkręcania utrudniają osiągnięcie zaprojektowanych długości pali (kolumn) oraz przechodzenie przez znacznej miąższości pośrednie warstwy gruntów zagęszczonych. Wysokie opory wiercenia powodują też szybkie zużywanie się świdrów i potrzebę ich regeneracji, bądź zakupu nowych narzędzi. Zagadnieniami oporów wkręcania świdrów przemieszczeniowych zajmowało się wielu badaczy, których wyniki badań i analiz, a także propozycje prognozowania tych oporów można znaleźć między innymi w pracach [3, 4, 5, 7, 8].

Na rynku wykonawczym występuje kilkanaście rodzajów i odmian świdrów przemieszczeniowych o różnych nazwach oraz symbolach handlowych. W ostatnim czasie pojawiła się również polska wersja nowego świdra przemieszczeniowego o symbolu DPDT (*Displacement Pile Drilling Tool*). W sierpniu 2020 roku na omawiany świder przyznano patent krajowy o nr. PL 235442 B1, [9]. Właścicielem patentu jest Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej, a autorem Adam Krasieński.

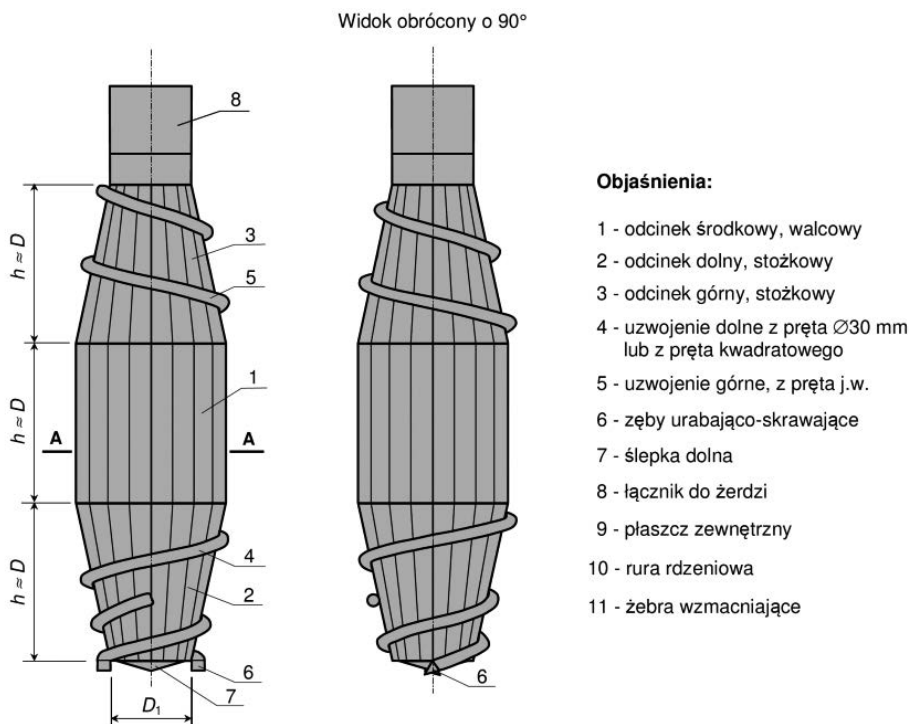
W związku z opracowaniem nowej konstrukcji świdra konsorcjum PG z firmą geotechniczną Budokop Geotechnika Sp. z o.o. uruchomiło projekt badawczy pt. „Opracowanie metody i narzędzi do wykonywania kolumn/pali przemieszczeniowych wkręcanych w różnorodnych warunkach gruntowych na

obszarze Polski wraz z przygotowaniem metodyki do projektowania i odbioru robót” realizowany w ramach Działania 4.1 Badania naukowe i prace rozwojowe, Poddziałania 4.1.4 Projekty Aplikacyjne Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój prowadzonego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Celem projektu o akronimie „DPDT – Auger” i numerze POIR 4.1.4. 0124/18 było między innymi przetestowanie funkcjonowania prototypowego świdra DPDT w różnorodnych warunkach gruntowo-wodnych na terenie Polski.

W artykule scharakteryzowano konstrukcję prototypowego świdra DPDT oraz przedstawiono wyniki badań terenowych skuteczności i efektywności jego działania w porównaniu z powszechnie stosowanym świdrem SDP. Badania świdrów powiązano z sondowaniami CPTU podłoża gruntowego.



Rys. 1. Świdry do wykonania kolumn/pali przemieszczeniowych wkręcanych, [2, 3]



Rys. 2. Schemat konstrukcyjny świdra DPDT (*Displacement Pile Drilling Tool*) [9]

## OPIS KONSTRUKCJI PROTOTYPOWEGO ŚWIDRA PRZEMIESZCZENIOWEGO DPDT

Na rynku wykonawczym występuje co najmniej kilkanaście odmian świderów do formowania pali przemieszczeniowych wkręcanych o różnych nazwach oraz symbolach handlowych (rys. 1).

Główne różnice między nimi dotyczą kształtu, długości i układu spirali talerzowej. Budowa większości świderów jest jednak zbliżona. Składają się one z trzech odcinków. Pierwszy odcinek talerzowo-spiralny powoduje pograżanie świdra w grunt podczas jego obracania. Drugi odcinek, walcowy o średnicy przyszłego pala, pełni funkcję rozpierającą grunt. Trzeci odcinek, talerzowo-spiralny o przeciwnym kierunku talerzy w stosunku do odcinka pierwszego, ma za zadanie wtórne rozpieranie gruntu podczas wykręcania świdra i betonowania pala. Duża różnorodność kształtów i rodzajów świderów wynika z ciągłego poszukiwania ich optymalnej budowy, nie generującej nadmiernych oporów gruntu podczas wkręcania i nie powodującej przy tym rozluźnienia gruntu w rejonie podstawy, i jednocześnie formującej pale (kolumny) o dobrej nośności.

Nowym, polskim rozwiązaniem świdra do wykonywania pali przemieszczeniowych wkręcanych jest świder o symbolu DPDT (*Displacement Pile Drilling Tool*), opatentowany pod nr. PL 235442 B1, przedstawiony rys. 2.

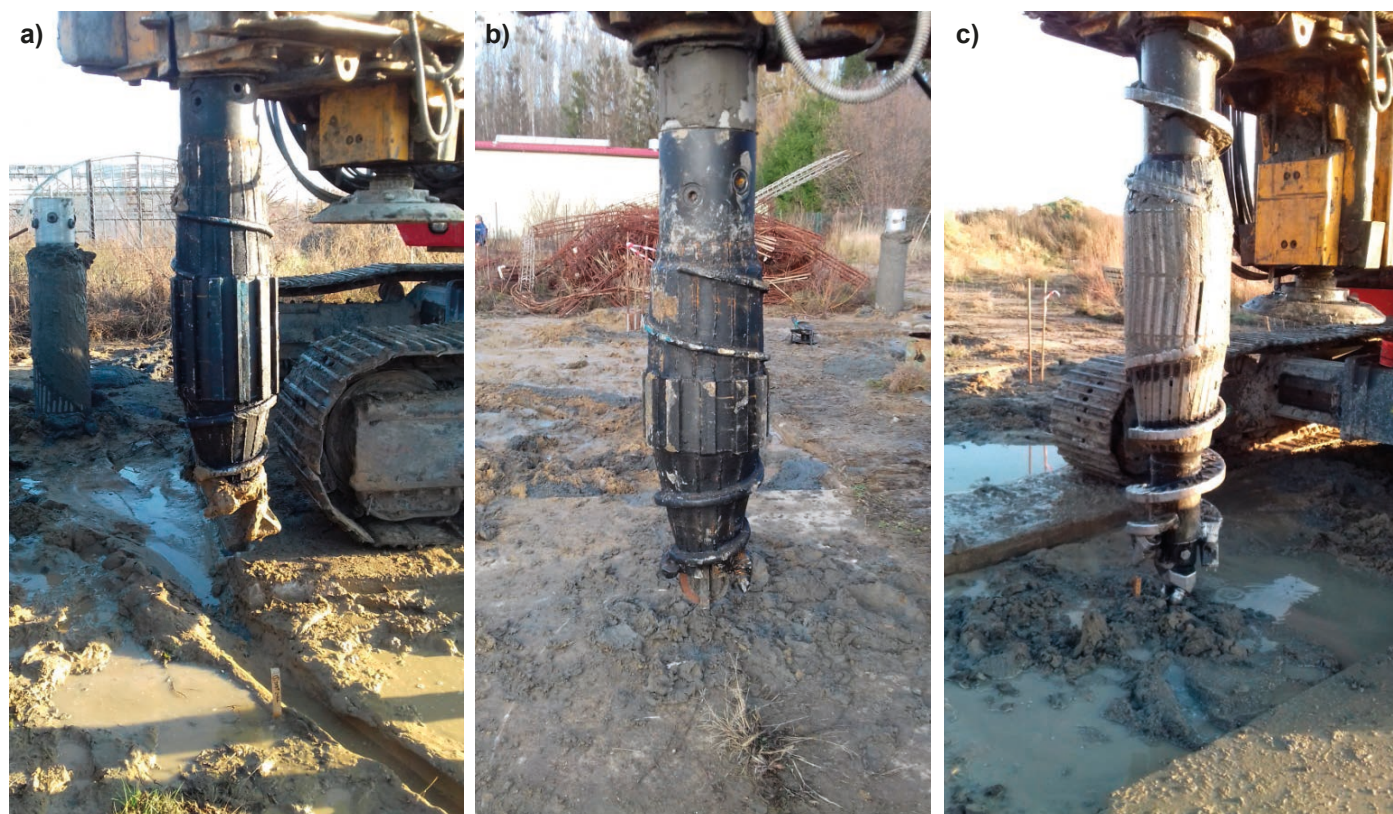
Świder DPDT w podstawie zaopatrzonej jest w zamknięcie stożkowe oraz zęby urabiająco-skrawające. Charakteryzuje się prostą konstrukcją, złożoną ze środkowego walca oraz dwóch ściętych stożków na jego końcach, zaopatrzonych w spiralne uzwojenie o przeciwnych kierunkach. Wysokość walca

oraz obu stożków (górnym i dolnym) są w przybliżeniu równe, jednak odcinek środkowy może też być krótszy lub dłuższy. Uzwojenie na świdrze wykonane jest z pręta stalowego, okrągłego lub kwadratowego.

Kształt świdra DPDT o tak prostej konstrukcji przekłada się na łatwość i niski koszt jego wykonania, jak również ułatwioną i mniej kosztowną regenerację świdra. Zamierzeniem zaprojektowanego świdra miało być przede wszystkim generowanie mniejszych oporów gruntu podczas drążenia otworu, wyrażone mniejszym momentem obrotowym  $M_T$ . Na podstawie przeprowadzonych wcześniej kilkunastu serii badań modelowych w gruntach niespoistych zjawisko takie zostało potwierdzone (zob. [5]). W tych samych badaniach odnotowano także, że modele pali wykonane świdrem DPDT charakteryzują się parametrami współpracy z gruntem niespoistym (krzywe osiadania  $Q-s$  oraz nośności) zbliżonymi (porównywalnymi) do pali wykonanych świdrem SDP.

## OPIS METODOLOGII TESTOWANIA ŚWIDRA DPDT W TERENIE

Do przeprowadzenia testów terenowych w ramach projektu badawczego „DPDT – Auger” wykonano prototypowe konstrukcje świderów DPDT w skali rzeczywistej. Przygotowano dwa warianty konstrukcyjne świderów o średnicy zewnętrznej  $D = 400$  mm: standardowy oraz skrócony o symbolu DPDT-s, mający skróconą do połowy długość odcinka środkowego (rys. 3a i 3b). Omawiane świdry przetestowano porównawczo z popularnym świdrem SDP o takiej samej średnicy  $D = 400$  mm (rys. 3c).

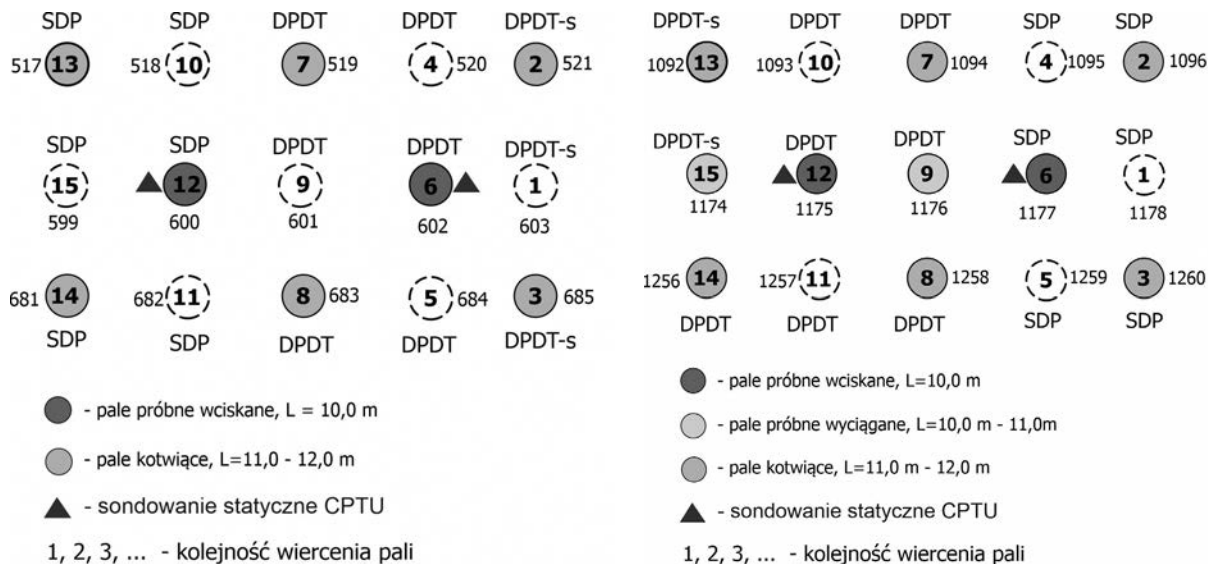


Rys. 3. Konstrukcje świderów testowanych w terenie: a) świder DPDT, b) świder DPDT-S, c) świder SDP

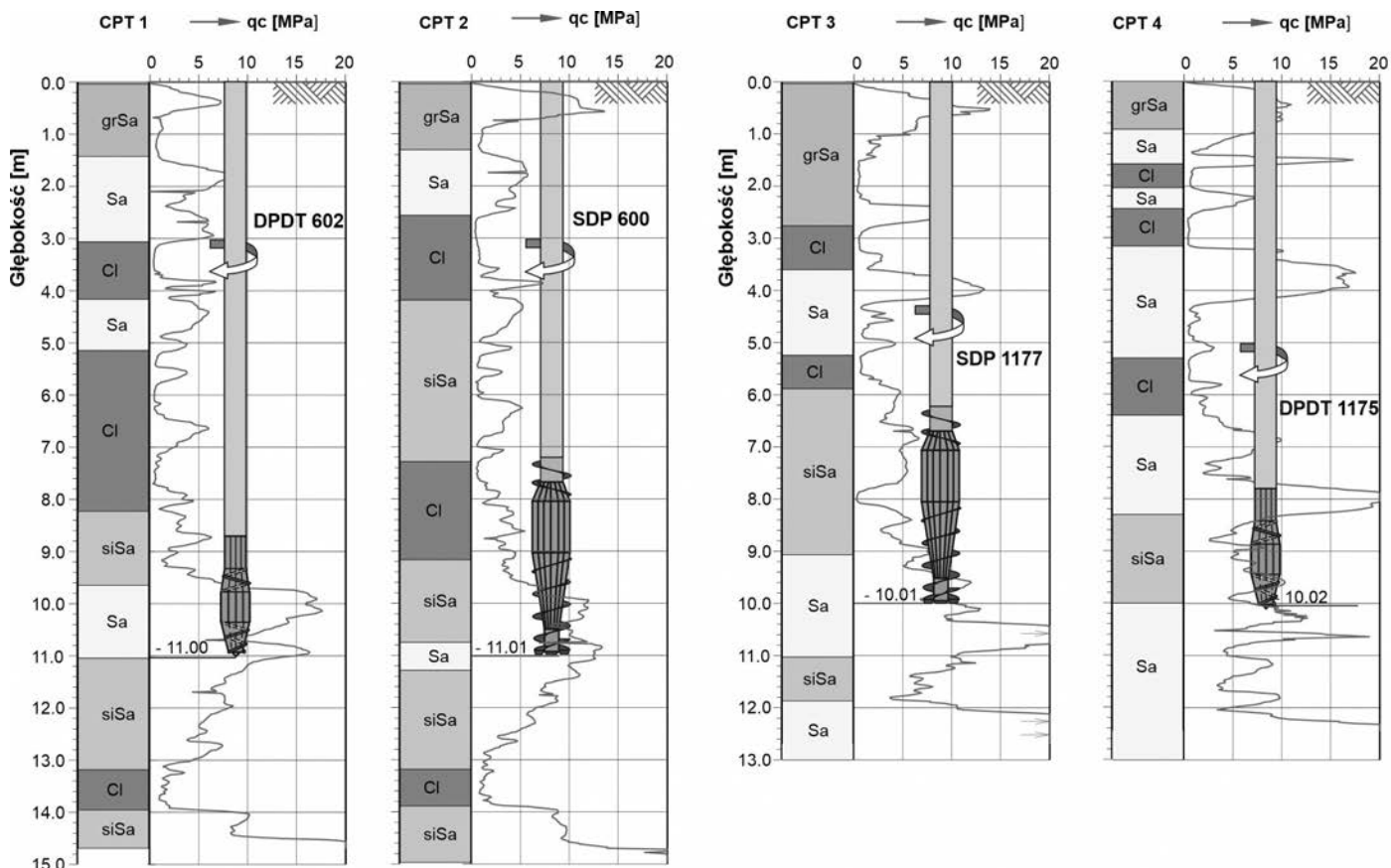
Badania porównawcze oporów wkręcania świdrów w podłoże gruntowe przeprowadzono na 6 terenowych poletkach doświadczalnych, zlokalizowanych na obszarze Polski Północnej (okolice Gdańska i Elbląga), na których wykonano łącznie 126 testów wkręcania świdrów DPDT, DPDT-s oraz SDP podczas wykonywania pali badawczych i pali kotwiących do przyszłych stanowisk próbnych obciążeń statycznych pali.

Poletka badawcze przygotowywano przy okazji i na obszarach budów realizowanych przez firmę Budokop Geotechnika

Sp. z o.o., związanych z fundamentowaniem na palach obiektów kubaturowych lub wzmocnieniem podłoża gruntowego pod place składowe. Zorganizowanie poletek badawczych wymagało uzgodnień oraz akceptacji generalnego wykonawcy i inspektora nadzoru. Rozmieszczenia pali na poletkach badawczych należało dostosować do ogólnego planu palowania realizowanej inwestycji. Przykładowy plan układu pali na poletku badawczym nr 3, zlokalizowanym w Elblągu przy ul. Grottgera, przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Plan poletka badawczego nr 3 – „Elbląg – Grottgera”



Rys. 5. Wyniki sondowań CPT oraz poziomy zagłębienia świdrów palowych – poletko nr 3 w Elblągu przy ul. Grottgera

W miejscach pali badawczych, jeszcze przed ich wykonaniem, przeprowadzono sondowania statyczne CPTU podłoża gruntowego. Oprócz tego na poletkach wykonano również badania dylatometryczne (DTM) oraz wiercenia badawcze z poborem próbek gruntu NNS do badań laboratoryjnych. Na rys. 5 przedstawiono profile gruntowe rozpoznane sondą statyczną CPTU na poletku badawczym nr 3 z jednoczesnym pokazaniem głębokości wkręcenia świdrów formujących pale badawcze.

Z racji tego, że testowanie świdrów prowadzono w ramach bieżących realizacji robót palowych, proces wwiercania świdra za każdym razem kończył się betonowaniem pala lub kolumny. W czasie wiercenia wewnątrz otworu w świdrze i żerdzi wypełnione było mieszkanką betonową w celu zapobieżenia napływowi wody do tego wnętrza. W komputerze pokładowym palownicy rejestrowane były wszystkie niezbędne parametry technologiczne dotyczące wiercenia otworu i wykonywania pala, które następnie zamieszczone były w metryce wykonania pala. W kontekście opisywanych w artykule testów świdrów, najbardziej interesującymi parametrami były opory wkręcania świdra w grunt w postaci momentu obrotowego  $M_T$ , siły nacisku, liczby obrotów oraz prędkości i czasu zagłębiania świdra.

### ANALIZA OPORÓW WKREĆANIA ŚWIDRÓW SDP I DPDT W PODŁOŻE GRUNTOWE

Jak wspomniano, jednym z podstawowych problemów stosowania pali przemieszczeniowych wkręcanych są duże opory gruntu podczas wkręcania świdra formującego. Dlatego przy projektowaniu pali należy odpowiednio dobrać średnice i długości pali, jak również wielkość i moc palownicy (głównie moc obrotową). Stosowane palownice różnią się od siebie między innymi momentem obrotowym, prędkością obrotową, siłą nacisku itp. Porównanie podstawowych parametrów typowych palownic stosowanych na rynku podano w tabl. 1.

Podczas omawianych testów na pięciu poletkach badawczych wykorzystano palownicę BG20H, a na jednym (poletko nr 4) – palownicę BG24H.

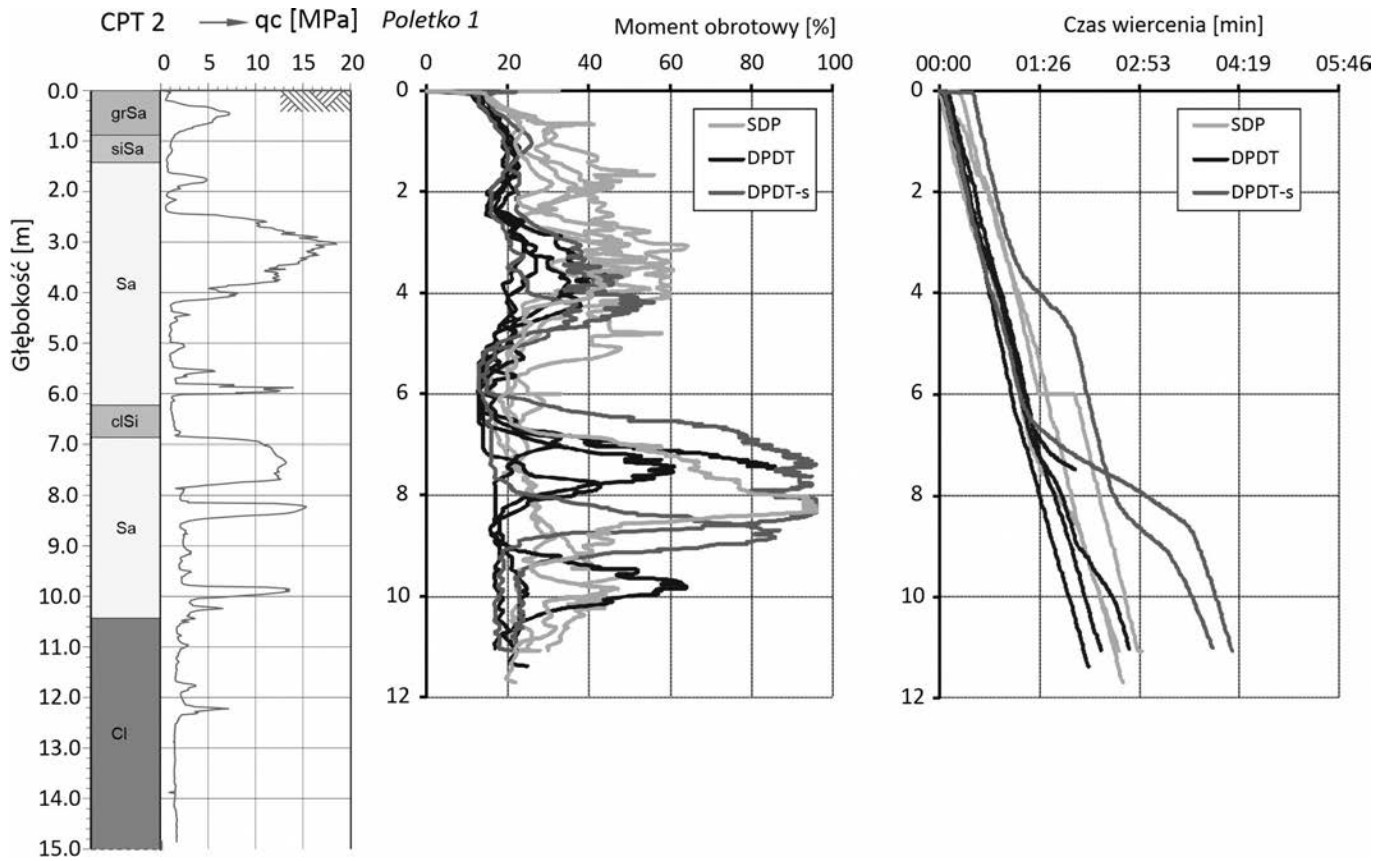
Na podstawie zarejestrowanych parametrów wkręcania testowanych świdrów SDP, DPDT, DPDT-s do analizy porównawczej wykorzystano moment obrotowy  $M_T$  oraz czas  $T$  potrzebny do pogrążenia świdra na zaprojektowaną głębokość.

Porównanie graficzne w postaci wykresów analizowanych wielkości na poszczególnych poletkach badawczych przedstawiono na rys. 6 ÷ 11. Szczegółowe wyniki testów zamieszczono w Raporcie [10].

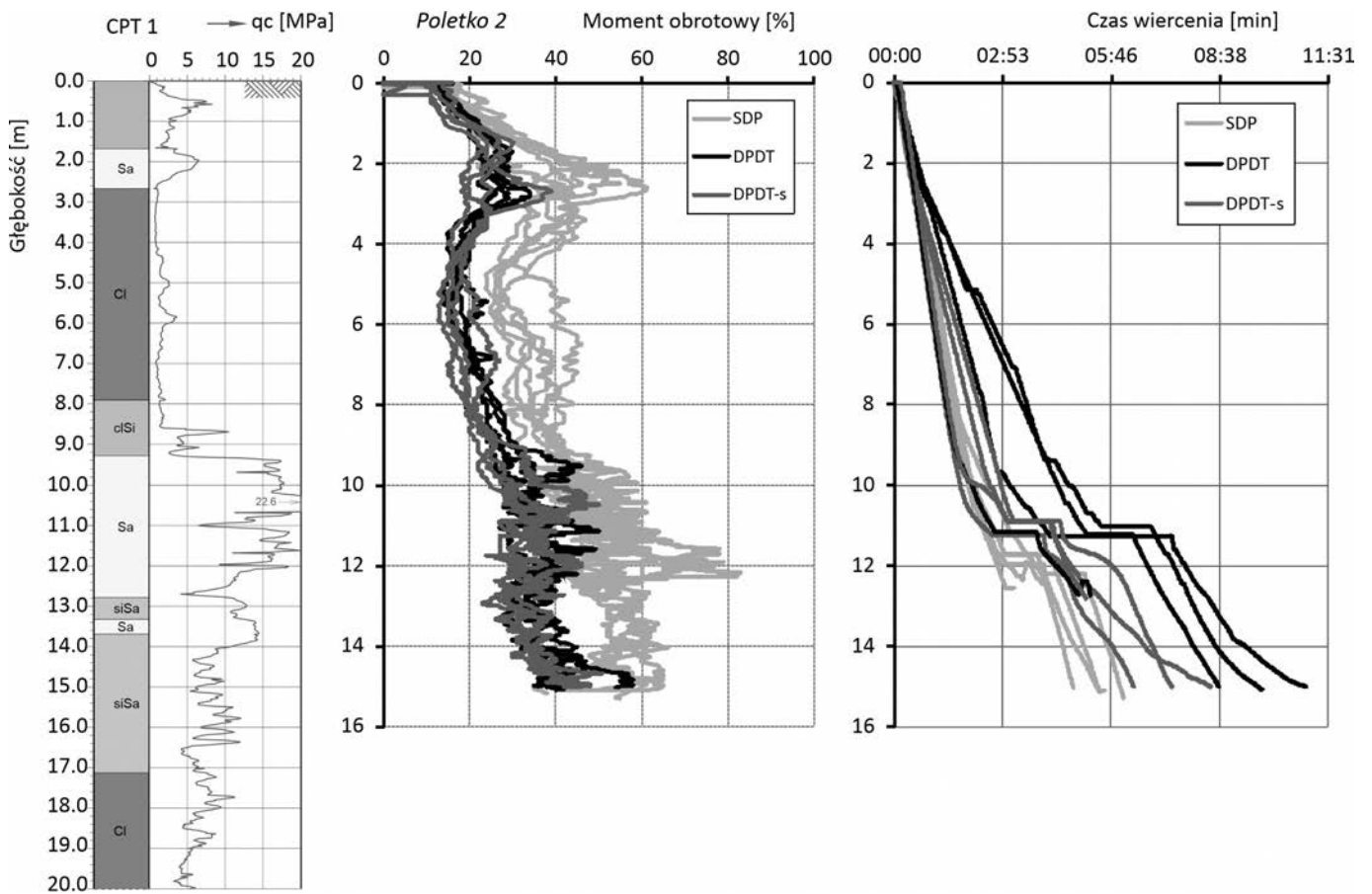
Tabl. 1. Porównanie głównych parametrów technicznych wybranych palownic

Podstawowe parametry techniczne maszyny	Bauer BG20H	Bauer BG24H	Libherr 155
Maksymalny moment obrotowy [kNm]	200	280	180
Maksymalna prędkość obrotowa [rpm]	58	58	22
Maksymalna siła nacisku [kN]	205	300	250
Maksymalna prędkość posuwu [m·min <sup>-1</sup> ]	7	9	15

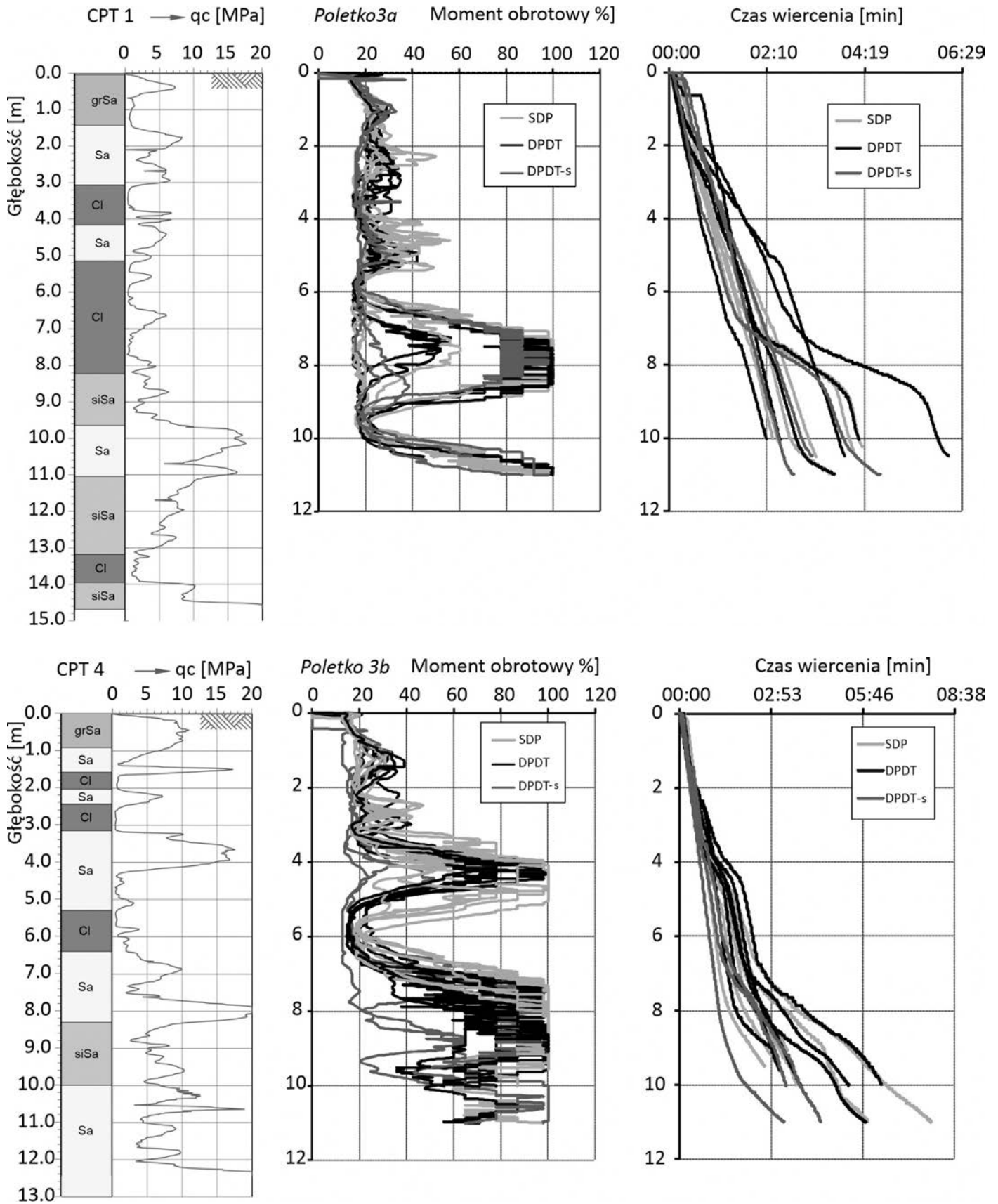
1. Analiza parametrów wkręcania prototypowych świdrów DPDT oraz DPDT-s o średnicy  $D = 400$  mm wskazuje, że świdry te generują mniejsze momenty obrotowe  $M_T$  niż świder SDP (o takiej samej średnicy  $D$ ). Uśredniona redukcja wartości momentu obrotowego  $M_T$  w badanych, zróżnicowanych warunkach gruntowo-wodnych wynosi od 2% do 14%.
2. Mniejsze wartości momentu obrotowego  $M_T$  generowanego przez świdry DPDT i DPDT-s w stosunku do świdra SDP odbywają się kosztem większej liczby obrotów, a tym samym dłuższego czasu potrzebnego do zagłębienia świdra na taką samą głębokość. Wkręcenie prototypowego świdra DPDT lub DPDT-s wymaga od 3 do 4 razy większej liczby obrotów niż świdra SDP i czasu wkręcania dłuższego o 20% do 50%. Jest to szczególnie zauważalne w zagęszczonych gruntach piaszczystych i w przewarstwieniach z podobnego rodzaju gruntów.
3. Wartość redukcji momentu obrotowego w świdrach DPDT i DPDT-s zależy od rodzaju gruntu, jego stanu zagęszczenia lub stopnia plastyczności, a także od konfiguracji uwarstwienia. Duży wpływ na wartości rejestrowanych parametrów wykonawstwa poszczególnych pali na danym poletku badawczym miała również kolejność ich wykonywania. Pale próbne zazwyczaj wykonywane były jako ostatnie na poletku, stąd wartości momentu obrotowego były dla nich większe niż dla pali wykonywanych wcześniej.
4. Świder DPDT-s o mniejszej powierzchni bocznej rozpiętej grunt wymaga w tych samych warunkach gruntowych generalnie mniejszej liczby obrotów niż świder DPDT, ale nadal większej niż świder SDP.
5. Konsekwencją mniejszych oporów wkręcania świdrów DPDT i DPDT-s w porównaniu ze świdrami SDP jest potencjalna szansa osiągnięcia większych długości pali i ich zagłębień w warstwach nośnych, co niewątpliwie przełoży się na większe nośności pali i możliwość redukcji ich liczby pod danym obiektem. Pomimo wydłużenia czasu wykonania pojedynczego pala, końcowy efekt zastosowania prototypowego świdra na danej budowie może być korzystny ekonomicznie.
6. Na opisywanych w artykule terenowych poletkach doświadczanych przeprowadzono również szereg próbnych obciążeń statycznych pali wykonanych świdrami DPDT i SDP. Badania te wykonano z dodatkowym oprzyrządowaniem pomiarowym w trzonach pali. Wyniki próbnych obciążeń pali będą przedmiotem oddzielnej publikacji, ale można już wstępnie zasygnalizować, że charakterystyki współpracy z gruntem obu technologii pali są do siebie zbliżone.
7. Planowane jest wprowadzenie świdrów DPDT i DPDT-s do powszechnej praktyki wykonawczej firmy Budokop. Autorzy artykułu liczą na upowszechnienie się tych świdrów również w praktyce innych wykonawców pali.



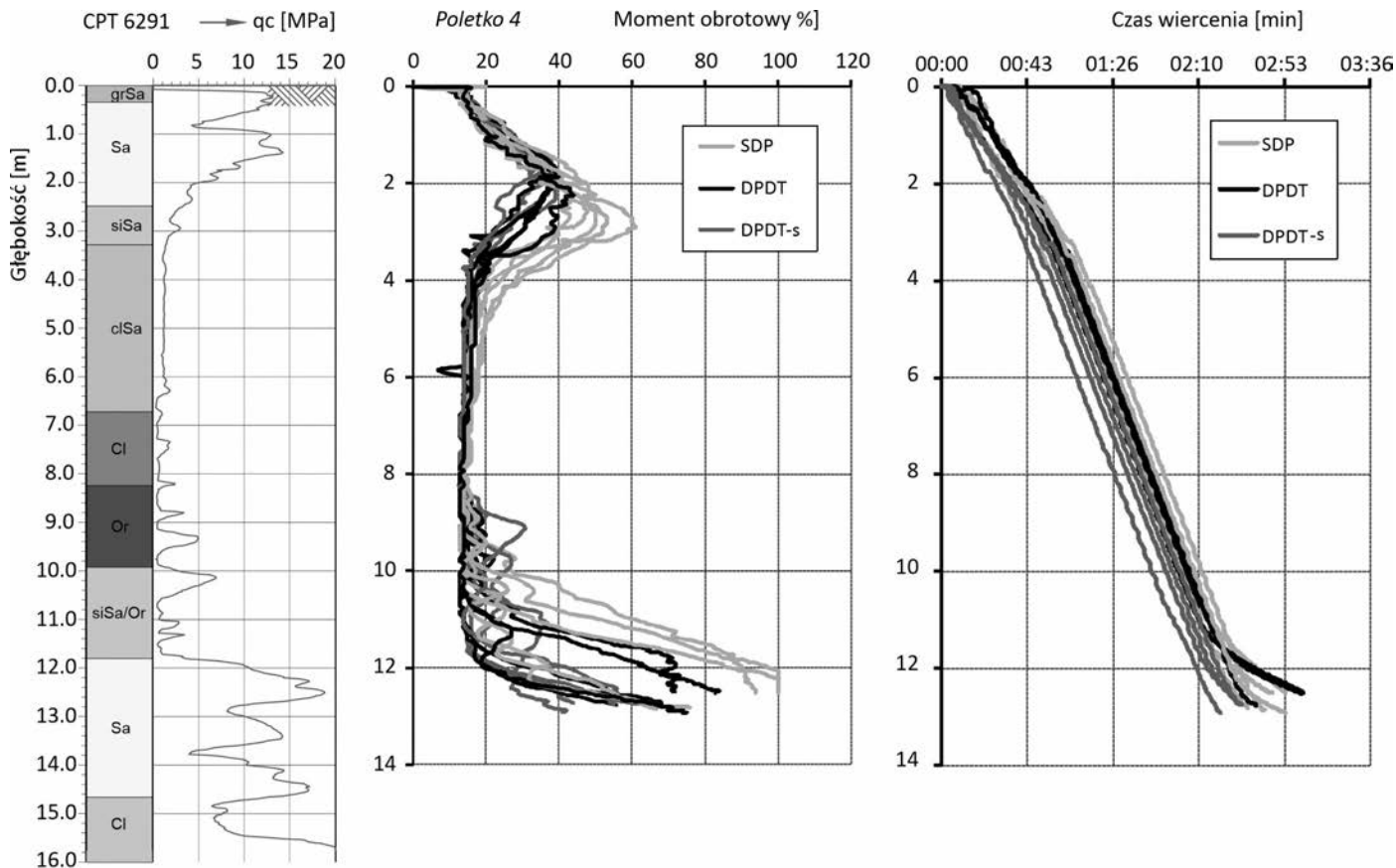
Rys. 6. Graficzne porównanie parametrów wkręcania świdrów. Poletko nr 1 – „Gronowo G.”



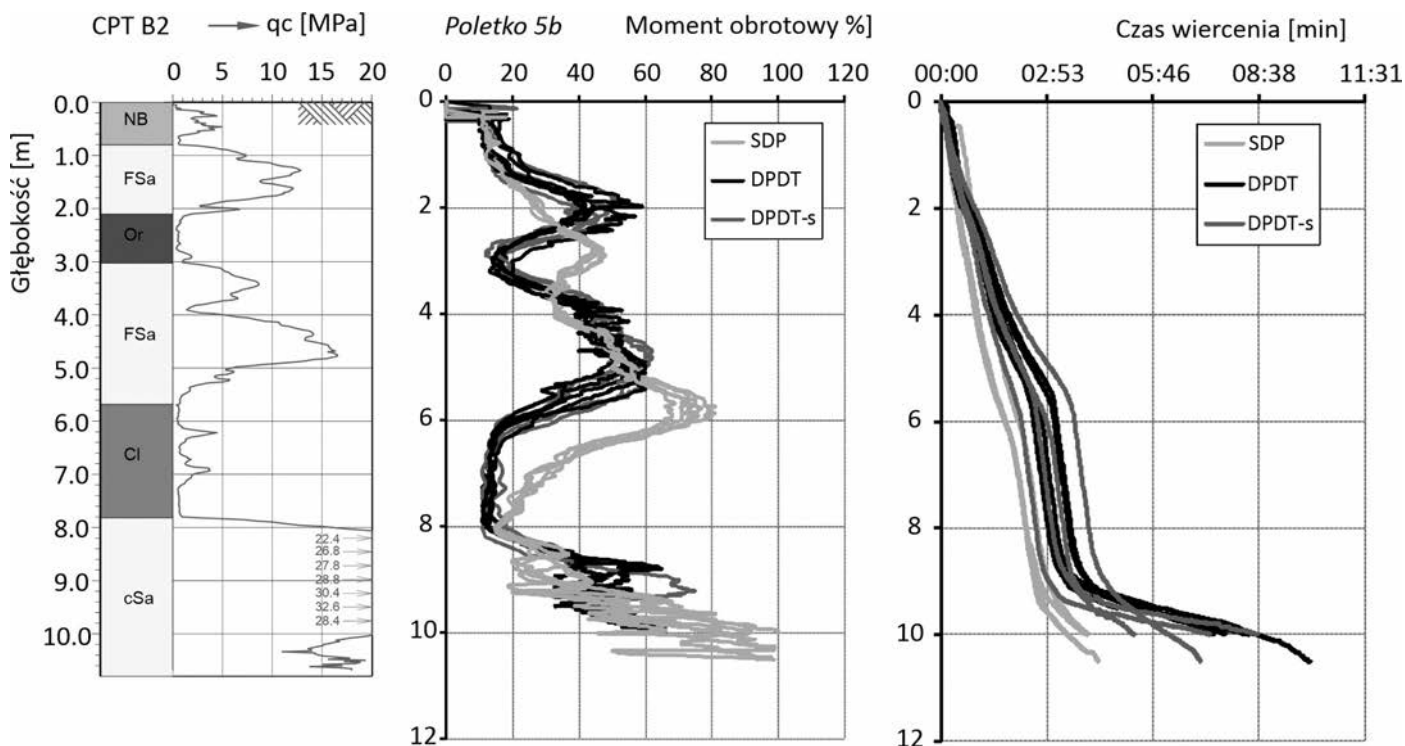
Rys. 7. Graficzne porównanie parametrów wkręcania świdrów. Poletko nr 2 – „Lawendowe W.”



Rys. 8. Graficzne porównanie parametrów wkręcania świdrów. Poletko nr 3 – „Elbląg – Grotgera”

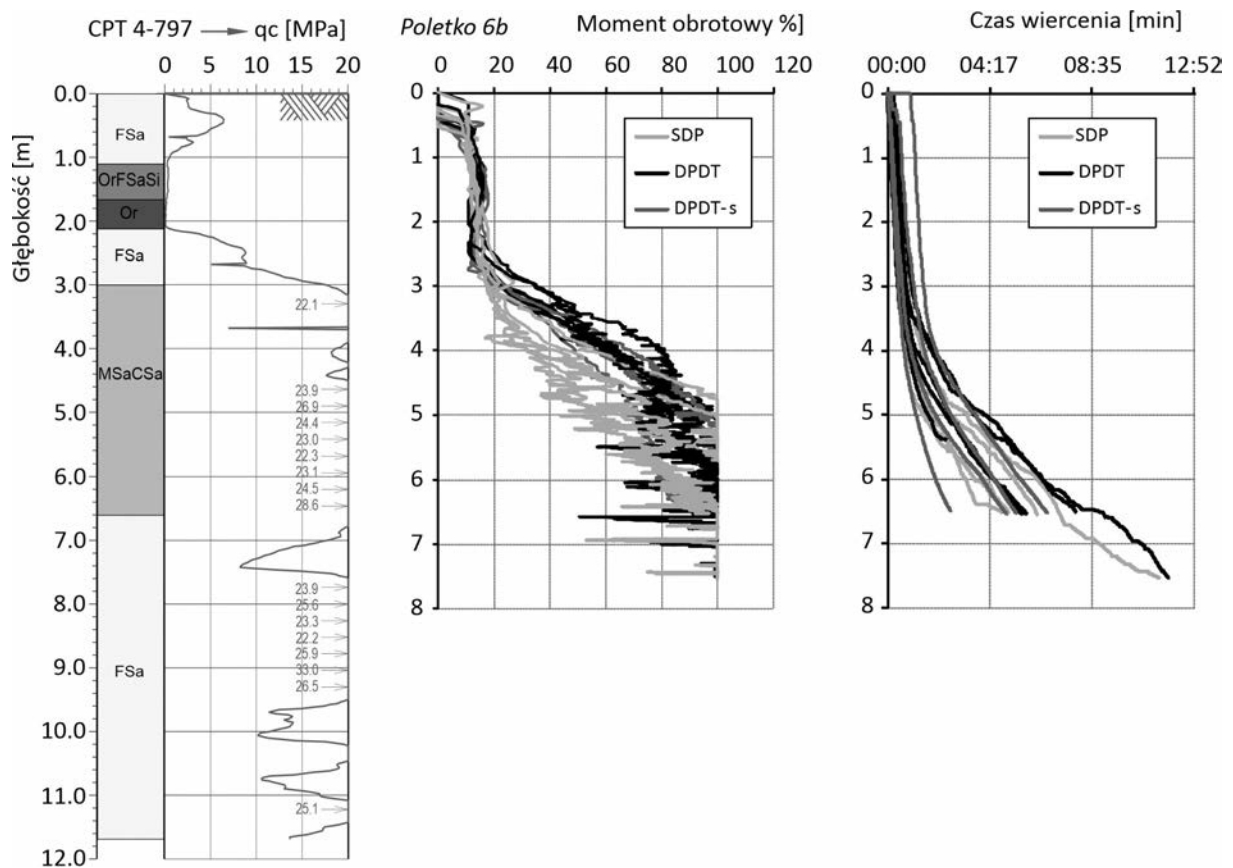
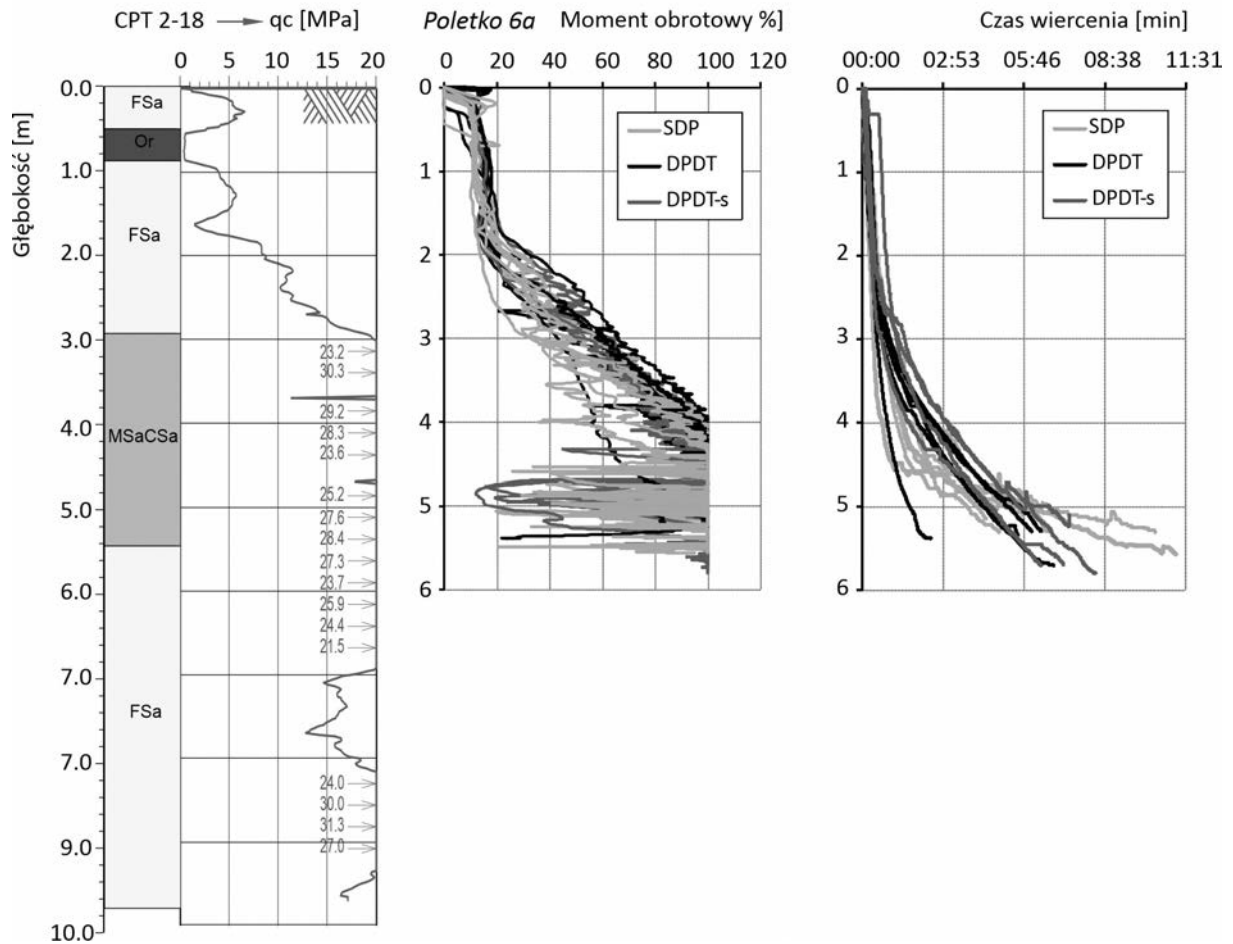


Rys. 9. Graficzne porównanie parametrów wkręcania świdrów. Poletko nr 4 – „Gdańsk – Tama P.”



Rys. 10. Graficzne porównanie parametrów wkręcania świdrów. Poletko nr 5 – „Gdańsk – Letnicka”





Rys. 11. Graficzne porównanie parametrów wkręcania świdrów. Poletko nr 6 – „Gdańsk – Stogi”

## LITERATURA

1. Gwizdała K.: Fundamenty palowe. Technologie i obliczenia. PWN, Warszawa 2010.
2. Krasieński A., Kusio T.: Charakterystyka badań i metod projektowania pali przemieszczeniowych wkręcanych. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 6/2012.
3. Krasieński A.: Pale przemieszczeniowe wkręcane. Współpraca z niespoistym podłożem gruntowym. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Monografie nr 134, 2013.
4. Krasieński A.: Zasady projektowania pali przemieszczeniowych wkręcanych w gruntach niespoistych. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 4/2013.
5. Krasieński A.: The analysis of soil resistance during screw displacement pile installation. *Studia Geotechnica et Mechanica*, Vol. XXXVI, No. 3, 2014.
6. Krasieński A., Więclawski P., Wiszniewski M., Kusio T.: Model tests of cast-in-place piles formed by using different types of auger. Proc. of the 20th Int. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Australian Geomechanics Society, Sydney 2022, 1227-1232.
7. Ne Smith W.M.: Static capacity analysis of augered, pressure-injected displacement piles, Proc. of the Int. Deep Foundation Congress 2002, Geotechnical Special Publication, No. 116, Vol. 2, ASCE, 1174-1186.
8. Van Impe W.F.: Influence of screw pile installation parameters on the overall pile behavior. Workshop "Piled Foundations: full scale investigations, analysis and design", Naples, 1994.
9. Opis patentowy Nr PL 235442 B1: Świder do wykonywania pali przemieszczeniowych wkręcanych. Urząd Patentowy RP, 10.08.2020.
10. Raport z realizacji projektu badawczego „DPDT – Auger” Nr POIR 4.1.4. 0124/18 w latach 2019 i 2020. Konsorcjum Budokop – Politechnika Gdańska.