

AUTOREFERAT

Dr inż. Wojciech Sas

Laboratorium – Centrum Wodne
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Warszawa, lipiec 2018

AUTOREFERAT

1. Imię i Nazwisko:

Wojciech Sas

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne:.

2001 r. – **uzyskanie stopnia doktora nauk rolniczych w zakresie kształtowania środowiska** na Wydziale Inżynierii i Kształtowania Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

Tytuł rozprawy „Modelowanie odkształceń gruntów organicznych z uwzględnieniem zmian właściwości ośrodka”.

Promotor pracy: dr hab. inż. Alojzy Szymański, prof. nadzw. SGGW.

1983 r. – **uzyskanie tytułu magistra inżyniera melioracji wodnych z wynikiem bardzo dobrym** na Wydziale Melioracji Wodnych Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

Tytuł pracy: Projekt warsztatu samochodowego na 6 stanowisk roboczych z zapleczem socjalnym, magazynowym, warsztatem mechanicznym oraz mieszkaniem dla właściciela.

Promotor pracy: doc. dr hab. inż. Wacław Jędrzejewski.

1979 r. – **uzyskanie tytułu technika drogowego o specjalności drogi i mosty kołowe** w Technikum Geodezyjno – Drogowym w Warszawie.

Tytuł pracy: Projektowanie składu asfaltu lanego dla rzeczywistych warunków produkcji.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/ artystycznych:

11.2011 – do chwili obecnej, **adiunkt** w Laboratorium – Centrum Wodne Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Od 01.10.2010 do 31.12.2012 pełniący obowiązki kierownika Laboratorium - Centrum Wodne. Od 01.01.2012 – obecnie kierownik Laboratorium – Centrum Wodne.

02.2002 – 10.2011, **adiunkt** w Katedrze Geoinżynierii Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska (wcześniej Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. W kadencjach 2005 – 2008 oraz 2008 – 2012 prodziekan Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska ds. rozwoju.

11.1994 – 01.2002, **asystent** w Katedrze Geoinżynierii (wcześniej w Katedrze Geotechniki) SGGW, pełniący obowiązki kierownika laboratorium geotechnicznego w latach 1994-2000.

09.1983 – 10.1994, **samodzielny meliorant**, następnie **specjalista** pełniący obowiązki kierownika laboratorium geotechnicznego w latach 1992-1994 w Katedrze Geotechniki SGGW.

4. Wskazanie osiągnięcia* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego:

Podstawą do ubiegania się przez mnie o stopień doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie budownictwo jest monografia pt.:

Charakterystyki geotechniczne wybranych materiałów antropogenicznych

b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy):

**Wojciech Sas: Charakterystyki geotechniczne wybranych materiałów antropogenicznych.
2018. Wydawnictwo SGGW, Warszawa. ISBN 978-83-7583-788-9.**

Recenzenci wydawniczy: prof. dr hab. inż. Eugeniusz Dembicki

prof. dr hab. inż. Kazimierz Garbulewski

c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Wprowadzenie

Przygotowana monografia „Charakterystyki geotechniczne wybranych materiałów antropogenicznych” stanowi wynik wieloletnich prac badawczych i dociekań naukowych zrealizowanych przez mnie podczas pracy w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

Uzasadnieniem podjęcia tematyki badawczej są rosnące koszty pozyskiwania naturalnych materiałów do budownictwa ziemnego w postaci gruntów i kruszyw, w powiązaniu ze zmniejszaniem się ich zasobów oraz utrudnieniami w ich pozyskaniu związanymi z ochroną środowiska. Jednym z głównych odbiorców kruszyw naturalnych jest sektor budownictwa drogowego. Według biuletynu UEPG – Annual Review 2016–2017 wydawanego przez European Aggregates Association (11.12.2017), w Unii Europejskiej i krajach należących do EFTA w latach 2016–2017 do powstania 1 km nowej drogi zużywano około 30 000 ton kruszyw. Były to głównie kruszywa naturalne, takie jak pokruszone skały, żwir i piasek, stanowiące łącznie około 88% zapotrzebowania rynku. W ciągu ostatnich 4 lat z 5 do 8% wzrosło zapotrzebowanie na kruszywa pochodzące z recyklingu, co stanowi znaczący wzrost w skali Unii Europejskiej i państw EFTA. Według Polskiego Związku Producentów Kruszyw, w Polsce w latach 2012–2020 do wybudowania dróg publicznych oraz tras kolejowych potrzeba będzie około 180 mln ton kruszywa oraz 150 mln ton mas ziemnych i skalnych. Prognozy wskazują, że po 2025 roku nastąpią ograniczenia w dostępie do złóż i brak wystarczającej produkcji piasków i żwirów, a po 2050 roku kruszyw naturalnych łamanych (Kabziński 2012). Wobec istniejących już w różnych regionach kraju niedoborów kruszyw i gruntów naturalnych oraz wobec nieprzychylnych dla rynku prognoz, alternatywą staje się szersze wykorzystanie kruszyw pochodzących z recyklingu Odpady budowlane w postaci gruzu betonowego poddane recyklingowi stają się destruktem betonowym, który po odpowiednim rozfrakcjonowaniu może być z powodzeniem zastosowany w budownictwie (Rafalski 2007, Zabielska-Adamska 2012, Sas i in. 2012). Obecna powszechność występowania destruktu betonowego, reprezentującego materiał antropogeniczny oraz skala wyburzeń i koniecznych prac modernizacyjnych w budownictwie wskazują, że materiał ten długo będzie stanowić potencjalny materiał do budowy konstrukcji ziemnych.

Podstawowymi normami klasyfikującymi grunty, zgodnymi z Eurokodem 7 (PN-EN 1997-2:2009), są Polskie Normy PN-EN ISO 14688-1:2006 oraz PN-EN ISO 14688-2:2004. Zastosowanie wymienionych norm w przypadku gruntów antropogenicznych ma charakter uznaniowy. Niezależnie od zaprezentowanych norm i zawartych w nich propozycji podziałów gruntów na naturalne, antropogeniczne i sztuczne, właściwe wydaje się nazywać destruktem betonowy uzyskany z recyklingu gruzu betonowego materiałem antropogenicznym. Jest to materiał pochodny od betonu i wytworzony przy udziale człowieka.

Zgodnie z normą PN-EN 206-1, beton to materiał powstały ze zmieszania kruszywa (drobnego i grubego), cementu, wody oraz ewentualnych domieszek i dodatków. Najczęściej spotykany procentowy udział poszczególnych składników betonu to: 67% kruszywo (41% kruszony kamień i 26% piasek), 16% woda, 11% cement, 6% powietrze oraz dodatki i domieszki chemiczne (Wilson i Malininni 2012). Beton uzyskuje swoje właściwości w wyniku hydratacji cementu. Głównym wyznacznikiem doboru składników podczas projektowania betonu jest jego wytrzymałość na ściskanie oznaczana klasą.

Przez pojęcie destruktu betonowy lub inaczej kruszywo betonowe rozumie się skruszony do odpowiednich frakcji beton pochodzący z konstrukcji betonowych i żelbetowych, betonowych nawierzchni drogowych i lotniskowych, krawężników oraz kostek betonowych. Proces ten można utożsamiać z produkcją kruszyw naturalnych. Jest to także „przyspieszony” proces wietrzenia fizycznego i mechanicznego. Należy stwierdzić, że materiał ten nie ma swojej historii obciążenia, jak w przypadku gruntów naturalnych. Proces powstawania destruktu betonowego związany jest z klasą betonu oraz zastosowaniem recyklingu w celu przekruszenia materiału (Sas i in. 2012, Sas i in. 2015).

Po przekruszeniu i wykonaniu analizy granulometrycznej można materiał scharakteryzować dodatkowo, stosując nazewnictwo jak w przypadku gruntów, np. destruktu betonowy o uziarnieniu żwiru. Ta charakterystyka inżynierska destruktu uzupełniona o parametry fizyczne, mechaniczne, filtracyjne i chemiczne materiału będzie stanowiła podstawę do zastosowania destruktu betonowego w budownictwie jako materiału alternatywnego.

Należy podkreślić, że oprócz odpowiedniego składu ziarnowego, bardzo ważny jest kształt ziaren produktów kruszenia, który jest jedną z najważniejszych cech wpływających na zachowanie podłoża gruntowego (Gawenda 2010). Kruszywo betonowe wytwarzane w procesie recyklingu to materiał całkowicie tłuczony i mający bardzo kanciaste kształty (IBDiM 2004). Ponadto kruszywo charakteryzuje się chropowatą teksturą powierzchniową oraz większą nasiąkliwością niż kruszywo naturalne. Cechy te spowodowane są wielokrotnym przetwarzaniem materiału w procesie recyklingu i podczas wbudowywania w konstrukcje ziemne. Rozmiar ziaren i cząstek ulega zmniejszeniu. Większe i mniejsze ziarna zbudowane są z obtoczonych zaprawą ziaren kruszywa lub gruntów. W drobnoziarnistych kruszywach z recyklingu betonu występuje znacząco więcej zaprawy niż w ich gruboziarnistych odpowiednikach. Niektóre drobne ziarna kruszywa betonowego i jego cząstki mogą stanowić w 100% starą zaprawę. W konsekwencji tego ziarna o mniejszych frakcjach charakteryzują się mniej korzystnymi właściwościami pod względem nasiąkliwości i mrozoodporności. Dotychczasowe badania kruszywa betonowego wykazały, że jest to materiał mniej odporny na działanie cykli zamrażania i odmrażania w porównaniu do kruszyw naturalnych (IBDiM 2004).

Przekruszone odpady betonowe z placów budów i rozbiórek mogą być wykorzystywane jako materiały budowlane, które będą stanowiły podbudowę drogową lub mogą być materiałem wykorzystywanym przy zabiegu wymiany gruntów podczas realizacji robót fundamentowych (Shull i in. 1998, Kryckij i Triches 2000, IBDiM 2004, Aurstad i in. 2006, Rafalski 2007, Melbouci 2009, Herrador i in. 2011, Arulrajah i in. 2012, Zabielska-Adamska 2012, Sas i in. 2014). W celu poprawnego wykorzystania destruktu betonowego oraz mając na uwadze zmienność jego właściwości, projektanci muszą mieć wiedzę na temat niezbędnych parametrów geotechnicznych materiału. W związku z tym w przypadku podjęcia decyzji o ich zastosowaniu należy wykonywać za każdym razem badania, które pozwolą na określenie parametrów geotechnicznych przy określonym stanie naprężenia, lub należy zapewnić projektantom normy, pozwalające na poprawne kontrolowanie jakości materiału i przedstawić instrukcje projektowania przy użyciu tego rodzaju materiałów (O'Mahony i Milligan 1991, Molenaar i van Niekerk 2002, Hendricks i Jansen 2003). IBDiM (2004) rozpatrując destruktu betonowy jako materiał do zastosowań w budownictwie drogowym (podbudowy, nawierzchnie i nasypy drogowe) wskazuje na konieczność przeprowadzania analizy zmienności uziarnienia destruktu betonowego w procesie zagęszczania oraz w badaniach mrozoodporności. Zwraca uwagę na problematykę nasiąkliwości kruszywa betonowego, określenia parametrów zagęszczalności (wilgotności optymalnej i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego), nośności

(CBR), wskaźnika wodoprzepuszczalności i in. Omówienie wyników badań wymienionych parametrów znajdujemy w pracach: O'Mahony i Milligan 1991, Bennert i in. 2000, Poon i in. 2006, Melbouci 2009, Deshapande i Hiller 2011, Jimenez i in. 2011, Vegas i in. 2011.

W przypadku kontaktu destruktu betonowego wbudowanego w nasypy lub w podbudowy drogowe z wodą konieczna staje się analiza stabilności metali ciężkich, chlorków i siarczanów w destrukcie i ich mobilności w środowisku wodnym i gruntowym. Beton pochodzący z rozbiórki dróg i chodników może zawierać chlorki oraz siarczany (IBDiM 2004). Chlorki wnikają w strukturę betonu z soli służącej do usuwania lodu z nawierzchni. Siarczany są składnikiem olejów i również mogą zanieczyszczać beton. Innymi składnikami, które w czasie eksploatacji zanieczyszczają beton, są metale ciężkie. Destrukty tego rodzaju pochodzą głównie z konstrukcji inżynierskich narażonych w czasie swojej eksploatacji na ich działanie (np. szpitale, zakłady przemysłowe). Poza rodzajem eksploatacji betonu pierwotnego, na jego skład chemiczny wpływa również czas ekspozycji. Wyniki badań porównawczych wymywalności metali ciężkich z kruszyw naturalnych oraz z destruktu betonowego (Barbudo i in. 2012) pokazują, że wymywalność metali ciężkich z obydwu materiałów jest niewielka. Ilości metali ciężkich wyługowanych z destruktu betonowego są nieznacznie większe w porównaniu z wymywanymi z kruszyw naturalnych. Na podstawie badań Engelsena i in. (2010, 2012), w których badano wymywalność metali ciężkich z podbudowy drogowej autostrady w okolicach Oslo można wywnioskować, że wymywalność związków chemicznych z destruktu betonowego jest większa niż z kruszyw naturalnych.

Bardzo ważną rolę pełnią parametry opisujące wytrzymałość i deformację destruktu w zmiennych warunkach obciążeń statycznych, cyklicznych lub dynamicznych. Obciążenia cykliczne to obciążenia, w których częstotliwość obciążenia nie powoduje powstania sił bezwładności lub powstałe siły bezwładności są na tyle małe, by można było je zaniedbać (Wichtmann 2005, Wichtmann i in. 2015). Obciążenie takie nazywane jest również quasi-statycznym. W przypadku wysokiej częstotliwości obciążenia siły bezwładności masy stają się istotnym zjawiskiem wpływającym na wyniki badań, a obciążenie takie nazywane jest dynamicznym. Na podział pomiędzy obciążeniami quasi-statycznymi a dynamicznymi ma wpływ nie tylko częstotliwość, ale także amplituda obciążenia. Do zastosowań praktycznych granica pomiędzy dwoma rodzajami obciążenia znajduje się przy częstotliwości $f = 5$ Hz. Źródła obciążeń cyklicznych i dynamicznych mogą mieć pochodzenie naturalne i antropogeniczne. Wśród obciążeń naturalnych można wyróżnić obciążenia od falowania morskiego lub trzęsienia ziemi. Problematykę badań sztywności gruntu z zastosowaniem różnych technik i metod badawczych opisali m.in. Hardin i Music 1965, Hardin i Drenevich (1972), Hardin i in. (1994), Stokoe i in. (1995, 1999), Viagani i Atkinson (1995), Dardanelli (2001), Lipiński (2006), Lipiński i Wdowska (2012), Camacho-Tauta i in. (2015). Zagadnienia związane ze sztywnością różnych materiałów antropogenicznych opisali m.in. Papp i in. (1998), Arm (2003), Molin i in. (2004) oraz Leite i in. (2011). Jednymi z nielicznych naukowców badających dynamiczne właściwości destruktu są He i Senetakis (2016a, b), Gabryś i in. (2016, 2017) oraz Li i in. (2017). Potencjalne źródła wibracji to: fundamenty maszyn przemysłowych, ruch miejski zarówno samochodowy, jak i tramwajowy, ale również pociągi metra, prace fundamentowe, takie jak wbijanie pali prefabrykowanych, pogrążanie ścianek szczelnych, zagęszczanie wibracyjne w dnie wykopu i wiele innych. Każde z tych źródeł charakteryzuje inna częstotliwość zadawanego obciążenia (Head 1986). Problematyką częstotliwości zadawanych obciążeń zajmowało się wielu naukowców i praktyków m.in. Pater i in. (2008), Łupieżowicz (2012), Pilecki i in. (2014), Jaroń i Jastrzębska (2015), Łupieżowicz (2015), Świdziński i Korzec (2015), Marszałek (2016). Zagadnieniami związanymi z badaniami gruntów w warunkach obciążeń cyklicznych oraz wyznaczaniem cyklicznego modułu sprężystości M_r (ang. resilient modulus) zajmowali się Seed i in. (1962), Brown i in. (1975), Bracksdale (1975), Brown (1979), Brown (1996), Drumm i in. (1997), Lekarp 1999, Lekarp i in. (2000a,b).

Cel i zakres pracy

Celem pracy była analiza właściwości fizycznych, mechanicznych, hydraulicznych i chemicznych materiału antropogenicznego – destruktu betonowego pod kątem możliwości jego wykorzystania w budowlach stanowiących podłoże, korpusy i inne formy obciążane statycznie, cyklicznie i dynamicznie. W pracy dokonano identyfikacji parametrów geotechnicznych destruktu betonowego.

Jest to materiał o mniej rozpoznanych, a zarazem bardziej specyficznych cechach fizycznych i mechanicznych. Jest klasyfikowany bardzo często jako kruszywo słabe, czyli zmieniające swoje

wyjściowe uziarnienie pod obciążeniem mechanicznym (IBDiM 2004). Zmiana uziarnienia może skutkować nieosiągnięciem zakładanych parametrów projektowych samego materiału wznoszonej budowli, co w rezultacie może doprowadzić do niemożności właściwej eksploatacji konstrukcji ziemnej. Badania własne zagęszczalności destruktu betonowego powiązane ze zmianą ich uziarnienia oraz z możliwym wpływem tej zmiany na właściwości filtracyjne, a także na możliwości konkretnych zastosowań w budownictwie drogowym. Badania nośności podporządkowano budownictwu drogowemu, badania wytrzymałościowe mają swoje uzasadnienie w szerokim zakresie budownictwa lądowego. Problem obciążenia gruntów jest w przypadku materiałów i gruntów antropogenicznych szczególnie ważny ze względu na zmianę ich właściwości w wyniku działalności człowieka. Wśród obciążeń wyróżnia się tutaj obciążenia statyczne, dynamiczne, a także szczególnie przypadek wolnozmiennych obciążeń powtarzalnych, nazywanych dalej cyklicznymi. Obciążenia te spotykane są często w przypadku budowli drogowych i przemysłowych. Charakterystyka tych obciążeń i literatura dotycząca tego zagadnienia w kraju i zagranicą jest dość dobrze rozpoznana, jednak niektóre elementy z nią związane nadal wymagają prac badawczych, szczególnie w przypadku materiałów antropogenicznych.

Praca składa się z ośmiu rozdziałów. W rozdziale pierwszym przedstawiono ogólne wiadomości o materiałach antropogenicznych oraz przesłanki do ich ponownego zastosowania w budownictwie. Rozdział drugi zawiera informacje literaturowe dotyczące klasyfikacji materiałów i gruntów antropogenicznych, przedstawia możliwości ich zastosowania w budownictwie oraz zawiera ogólną charakterystykę właściwości destruktu betonowego. Analiza literatury dotyczącej właściwości i zastosowania materiałów antropogenicznych pozwoliła na opracowanie rozdziału trzeciego, który przedstawia cel i zakres pracy. Rozdziały czwarty, piąty, szósty i siódmy zawierają przegląd literaturowy oraz wyniki badań własnych destruktu betonowego. W rozdziale czwartym przedstawiono właściwości fizyczne i mechaniczne destruktu betonowego, a szczegółowiej badania zagęszczalności destruktu betonowego i zmian jego uziarnienia w procesie zagęszczania. Omówiono mechanizm zjawiska kruszenia oraz jego wpływ na założenia projektowe i właściwości samego materiału. Rozdział czwarty zawiera także wyniki badań nośności CBR materiału. W rozdziale tym przedstawiono również badania przepuszczalności destruktu betonowego oraz stabilności chemicznej materiału w kontakcie z wodą. W rozdziale piątym przedstawiono wyniki badań wytrzymałościowych i odkształceniowych destruktu betonowego w warunkach obciążeń statycznych. Rozdział szósty dotyczy badań nieniszczących destruktu betonowego w zakresie obciążeń dynamicznych. Doświadczenia poszerzono o badania mieszanki destruktu betonowego i ścinków gumowych. Wynikiem badań są parametry destruktu betonowego w zakresie małych odkształceń. W rozdziale siódmym przedstawiono badania destruktu betonowego obciążonego cyklicznie oraz charakterystykę cyklicznego modułu sprężystości, który jest parametrem opisującym reakcję materiału na obciążenie cykliczne. Rozdział ósmy zawiera podsumowanie uzyskanych wyników badań własnych ze wskazaniem oryginalnych elementów rozprawy oraz przedstawia kierunki i potrzeby dalszych prac w prezentowanej tematyce badawczej materiałów antropogenicznych.

Prezentowane w monografii wyniki badań własnych wykonano na materiale antropogenicznym: kruszywie z recyklingu – destrukcie betonowym pochodzenia z betonu cementowego klas C16/20–C30/37 (PN-EN 206-1) odpowiadającym betonowi klas B16–B37 (PN-B-06250-1988). Wyboru klas betonu dokonano celowo jako wybór reprezentatywny obecnie wyburzanych konstrukcji z lat 70, 80 i 90. ubiegłego wieku. Wytrzymałość materiału na ściskanie określono od 12,8 do 58,7 MPa, średnia wartość wytrzymałości na ściskanie wynosiła około 33,0 MPa (Sas i in. 2015). Część materiału pochodziła z przekruszenia krawężników z rozbiórki drogi miejskiej (Kulkowska 2012). Wytrzymałość materiału na ściskanie wyniosła od 17,89 do 35,78 MPa przy wartości średniej wytrzymałości na ściskanie wynoszącej 29,80 MPa. Do przygotowania materiału do dalszych badań zastosowano metody zgniatania oraz udarową. Otrzymany w wyniku kruszenia destruktu betonowy nie zawierał zanieczyszczeń typowych dla materiału rozbiórkowego – stali, drewna, plastiku. W celu wyeliminowania wpływu efektu wtórnego wiązania destruktu betonowego na wyniki badań fizycznych i mechanicznych zaprezentowanych w pracy materiał podlegał sezonowaniu w kontakcie z wodą. Po tym materiał przemieszczano w celu jego ujednoczenia. Uzyskano ostrokrawędzisty kształt oraz chropowatą powierzchnię ziaren (Sas i in. 2015). Następnie materiał rozfrakcjonowano za pomocą mechanicznej wstrząsarki na sitach o średnicach zastępczych oczek kwadratowych: 0,063 mm; 0,125 mm; 0,5 mm; 1,0 mm; 2,0 mm; 4,0 mm; 8,0 mm; 16 mm; 31,5 mm (PN-EN 932-2:2001). Do dalszych badań laboratoryjnych destruktu betonowego, których wyniki zaprezentowano w

rozprawie, próbki przygotowywano z rozfrakcjonowanego i zgromadzonego materiału. Mieszanki niezwiązane z destruktu betonowego odpowiadały składem granulometrycznym krzywym uziarnienia stosowanym do podbudów drogowych zgodnie z WT-4 (2010).

Badania przedstawione w niniejszej pracy prowadzono w ramach statutowej działalności jednostki i własnego rozwoju naukowego. Badania przeprowadzono, stosując aparaturę znajdującą się w Laboratorium – Centrum Wodne SGGW. Centrum jest bazą badawczą Katedry Geoinżynierii Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

Podsumowanie i wnioski

W monografii przedstawiono charakterystykę wybranych właściwości fizycznych i mechanicznych analizowanych materiałów antropogenicznych. Wykonane prace badawcze i przegląd literatury krajowej oraz zagranicznej miały na celu otrzymanie charakterystyk naprężeniowych i odkształceniowych, charakterystyk właściwości fizycznych i zjawisk z nimi związanych. Przeprowadzoną analizę opracowano dla destruktu betonowego, będącego materiałem o innym składzie mineralnym niż grunty naturalne. Wykonano wiele badań właściwości fizycznych destruktu betonowego, w trakcie których zaobserwowano zjawisko kruszenia tego materiału w procesie zagęszczania udarowego. Prace badawcze związane z obciążeniami cyklicznymi destruktu betonowego były ukierunkowane na poznanie charakterystyki cyklicznego modułu sprężystości M_r . Otrzymana charakterystyka tego modułu pozwoliła następnie na zaproponowanie zależności empirycznych, opisujących zmianę cyklicznego modułu sprężystości.

W przypadku badań wpływu obciążeń dynamicznych na materiały antropogeniczne należy podkreślić fakt, że aparatura, na której wykonano badania, jest unikatem w skali kraju. To, co czyni kolumnę rezonansową znajdującą się w Laboratorium – Centrum Wodne Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie wyjątkową, to fakt, że ma ona ulepszenia pozwalające na jednej i tej samej próbce wykonać pomiar wszystkich dynamicznych parametrów materiałów w zakresie małych odkształceń przy identycznych warunkach obciążania trzema różnymi technikami: przy użyciu piezoelementów bender, cyklicznego skręcania próbki i standardowego badania rezonansowego. W związku z tym samo badanie jest elementem oryginalnym i bardzo rzadko spotykanym.

Pomimo szerokiej wiedzy dotyczącej obciążeń dynamicznych, nadal istnieje potrzeba wykonywania badań traktujących o module odkształcenia postaciowego omawianego materiału antropogenicznego. Ponadto, jeśli zestawimy uzyskane wyniki badań materiału antropogenicznego w zmodyfikowanej kolumnie rezonansowej z kompleksową analizą rezultatów z trzech różnych technik badawczych, jaką autor wykonał, otrzymujemy nowe wyniki, dotychczas nie spotykane w literaturze krajowej. Dobrane uziarnienia gruntu do badań pozwalają wykorzystać dokładnie taki sam materiał do wbudowywania na przykład w podbudowę zasadniczą nawierzchni drogowej.

Kolejnym materiałem, którego rezultaty badań bardzo rzadko prezentowane są w literaturze, jest mieszanina destruktu betonowego i ścinków gumowych. Wyniki badań dynamicznych mieszanin gruntów niespoistych i granulatu gumowego są dostępne w literaturze zagranicznej. Jednakże mieszanina kruszywa pochodzącego z recyklingu, jakim jest destruktu betonowy i ścinki gumowe, nadal nie jest spotykana w zagranicznych badaniach. Mimo iż badania tego materiału przeprowadzono tylko jedną techniką, tj. pomiaru prędkości fali za pomocą piezoelementów bender, to nadal wyniki tak uzyskanego maksymalnego modułu ścinania są oryginalne.

Przeprowadzony przegląd literatury dotyczący tematu obciążeń cyklicznych wskazuje na wiele kierunków, które są obecnie tematem prac badawczych. Jednym z nich są badania nieniszczące, których celem jest poznanie natury zjawiska zmiany sztywności materiału poddanego obciążeniu cyklicznemu. Parametrem opisującym to zjawisko jest cykliczny moduł sprężystości M_r , który pozwala na charakterystykę reakcji materiału w postaci odkształcenia sprężystego. Wykonane na potrzeby niniejszej monografii badania statyczne i cykliczne trójosiowego ściskania pozwoliły na zaproponowanie zależności empirycznych opisu gruntu antropogenicznego – destruktu betonowego, określających zmianę wartości cyklicznego modułu M_r od aktualnego stanu naprężenia.

W przypadku badań w skrzynkowym aparacie bezpośredniego ścinania autor po wnikliwej analizie tematu, zarówno literaturowych wyników badań, jak i po przeglądzie wiedzy na temat

destruktu betonowego, doszukał się braków i niejasności. W literaturze zagranicznej można odnaleźć wiele wyników badań dotyczących kąta tarcia wewnętrznego destruktu betonowego uzyskanych z badań bezpośredniego ścinania. Niemniej jednak w opinii autora większość badań nie podchodzi do tej tematyki kompleksowo, co powoduje powstanie mało wiarygodnych wyników.

Podczas badań destruktu betonowego pierwszym problemem był rozmiar skrzynki dwudzielnej. Mimo iż problem efektu skali badany dla różnych gruntów był już podany w 1938 roku, to nadal nie ma badań i informacji dostarczających odpowiedzi na pytanie, czy destruktu betonowy jako materiał antropogeniczny także podlega temu zjawisku. Badania przeprowadzone przez autora na dwóch rozmiarach skrzynek, a mianowicie wielkowymiarowej ($250 \times 250 \times 250$ mm) i średniowymiarowej ($120 \times 120 \times 120$ mm), stanowią autorskie rozwiązanie tego zagadnienia. Tego rodzaju porównań wykonanych na materiale antropogenicznym pochodzącym z recyklingu w literaturze zagranicznej wciąż jest mało i przedstawione wyniki można zaliczyć do oryginalnych i bardzo rzadkich.

Kolejnym ważnym elementem jest sam proces ścinania i jego przebieg w aparacie skrzynkowym. Nie od dziś wiadomo, że wymuszona płaszczyzna ścięcia, która występuje w standardowym badaniu, wpływa na zawyżenie kąta tarcia wewnętrznego uzyskiwanego z badań na gruntach niespoistych. Ponadto charakterystyki naprężenie – odkształcenie uzyskane z takich badań prezentują mało wiarygodne przebiegi. W literaturze zagranicznej przedstawiono już rozwiązanie w postaci stworzenia strefy ścinania poprzez różnego rodzaju modyfikacje. Niemniej jednak modyfikacja wielkowymiarowego aparatu bezpośredniego ścinania, która przez wprowadzenie 25 metalowych ramek tworzy 50-milimetrową strefę ścinania podczas badania, jest mało rozpowszechniona. Dodatkowo sam destruktu betonowy nie był nigdy wcześniej poddany tego rodzaju badaniom, co także uwypukla oryginalność takiego podejścia do badanych parametrów wytrzymałościowych.

Przedstawione wyniki badań analizy zmiany składu uziarnienia wraz z postępującym procesem zagęszczania wskazują na to, że destruktu betonowy jest podatny na zjawisko kruszenia się ziaren. Na proces kruszenia składa się wiele czynników zarówno fizycznych, jak i mechanicznych. Ważnymi czynnikami wpływającymi na zdolność ziaren do kruszenia się są ich rozkład w szkieletie gruntowym oraz przypadkowe powierzchnie kontaktowe między ziarnami i cząstkami. Badania własne pozwoliły na zaobserwowanie, że destruktu betonowy będzie kruszył się bardziej w przypadku nierównomiernego udziału poszczególnych frakcji ziaren w masie gruntowej. Ponadto wykazano zależność kruszenia materiału od zastosowanej wilgotności zagęszczania. Najmniej intensywny proces kruszenia poszczególnych frakcji materiału występuje w wąskim przedziale wilgotności zbliżonym do wilgotności optymalnej destruktu wykazanej metodą Proctora. Jest to szczególnie ważna informacja dla projektantów, którzy muszą wziąć pod uwagę przy projektowaniu ewentualną zmianę składu uziarnienia gruntu, a także dla wykonawców robót ziemnych.

Badania zagęszczalności destruktu betonowego pozwoliły na rozpoznanie cech tego materiału. Zaobserwowano, że destruktu betonowy zagęszcza się w sposób podobny do gruntów naturalnych, gdzie obserwuje się charakterystyczną wartość wilgotności optymalnej. Dodatkowo na podstawie wyników badań ustalono, że charakterystyka wilgotności optymalnej jest różna w zależności od postaci krzywej uziarnienia badanego gruntu. W przypadku materiałów różnoziarnistych obserwuje się bardziej dynamiczny wzrost gęstości objętościowej szkieletu gruntowego w okolicach wilgotności optymalnej. Wraz ze wzrostem energii zagęszczania obserwuje się wzrost wartości gęstości objętościowej szkieletu gruntowego oraz spadek wilgotności optymalnej. Jest to charakterystyka podobna do tej obserwowanej dla gruntów naturalnych.

Wyniki badań CBR na podstawie przeglądu literatury wskazują na wysoką nośność destruktu betonowego, która w zależności od sposobu przygotowania próbek do badań może zawierać się w granicach od 177 do 64%. W celu zwiększenia nośności destruktu betonowego przeprowadza się badania jego mieszanek z innymi kruszywami, jak kruszywo wapienne, którego dodatek zwiększa nośność takiej mieszanki, lub na przykład destruktu asfaltowego, gdzie obserwuje się spadek nośności.

Przeprowadzony przegląd literatury wskazuje na to, że badania te są także ukierunkowane na poznanie charakterystyk nośności CBR, a także na wyprowadzenie licznych zależności, pozwalających na obliczenie wartości wskaźnika CBR na podstawie właściwości fizycznych. Parametr ten jest następnie wykorzystywany do obliczeń przy projektowaniu konstrukcji drogowych.

Badania przepuszczalności hydraulicznej metodą stałogradientową przeprowadzone na destrukcie betonowym potwierdziły występowanie zjawiska gradientu początkowego oraz filtracji prelinearnej i linearnej, jak w przypadku przepływu wody przez grunty mało spoiste. Prezentowane wyniki wskazują

na celowość określania gradientów progowych, które mogą mieć wpływ na projektowanie badań przepuszczalności hydraulicznej destruktu betonowego dla konkretnych założeń projektowych.

Badania potencjalnego wpływu destruktu betonowego na środowisko gruntowo-wodne nie wykazały przekroczeń normowych wymywalności siarczanów, chlorków oraz metali ciężkich. Pod względem chemicznym jest on bezpieczny dla środowiska gruntowo-wodnego przy zastosowaniu w mieszankach niezwiązanych do podbudów nawierzchni drogowych oraz w nasypach piętrzących wodę. Wykazały też, że poziom zanieczyszczeń zależy od rodzaju konstrukcji betonowej poddanej wyburzeniu i czasu jej ekspozycji na czynniki zewnętrzne. Poziom zanieczyszczeń jonami chloru pochodzącymi z soli wykorzystywanej do usuwania lodu z nawierzchni oraz siarczanami pochodzącymi z kontaktu z olejami bogatymi w te związki był większy w materiale wyburzeniowym betonowych konstrukcji drogowych niż w betonie elewacyjnym ścian budynków. Większa zawartość tych związków może być zagrożeniem dla samego materiału antropogenicznego w postaci zjawiska korozji siarczanowej oraz chlorkowej.

Elementami oryginalnymi rozprawy są:

Przeprowadzenie badań statycznego trójosiowego ściskania i cyklicznego trójosiowego ściskania na gruntach antropogenicznych:

- Opracowanie zależności empirycznych pozwalających na otrzymanie wartości cyklicznego modułu sprężystości, gdzie parametrami użytymi do obliczeń są charakterystyczne wartości stanu naprężenia, jak mniejsze efektywne naprężenie główne σ'_3 , amplituda naprężenia dewiatorowego q_a czy średnie naprężenie dewiatorowe q_m dla gruntu spoistego.
- Wykonanie badań przy wykorzystaniu zmodyfikowanej kolumny rezonansowej i określenie charakterystyk zmiany modułu sztywności dwóch rodzajów gruntów antropogenicznych.
- Wykonanie badań filtracji destruktu betonowego za pomocą metody stałogradientowej oraz zaobserwowanie istnienia gradientu progowego.
- Wykonane badania bezpośredniego ścinania przy wykorzystaniu wielkowymiarowego aparatu skrzynkowego, w tym przy wykorzystaniu stalowych ramek, które pozwoliły na zaobserwowanie innej niż w gruntach naturalnych reakcji destruktu betonowego na proces ścinania.
- Badania zagęszczalności destruktu betonowego, które pozwoliły na zaobserwowanie zjawisk fraktalnego kruszenia się i różnej charakterystyki wilgotności optymalnej przy różnych krzywych uziarnienia materiału.

Wybrane wnioski ogólne z przeprowadzonych prac badawczych

- Wartość cyklicznego modułu sprężystości jest uzależniona od parametrów charakteryzujących stan naprężenia i na podstawie tych wartości można opracować równania empiryczne pozwalające na obliczenie tego parametru.
- Destrukt betonowy w badaniach w kolumnie rezonansowej zachowuje się jak grunt naturalny, tzn: maksymalny moduł odkształcenia postaciowego rośnie wraz ze wzrostem naprężenia efektywnego, a moduł odkształcenia postaciowego maleje wraz ze wzrostem odkształcenia postaciowego. Można zaobserwować wyraźną granicę odkształceń plastycznych.
- W badaniach cyklicznego skręcania nie obserwuje się wpływu częstotliwości skręcania na uzyskiwane krzywe degradacji modułu odkształcenia postaciowego.
- Maksymalny moduł odkształcenia postaciowego uzyskany z badań cyklicznego skręcania i za pomocą pomiaru prędkości fali poprzecznej był zbliżony, co potwierdza wiarygodność uzyskanego parametru.
- Czysty destrukt betonowy uzyskuje znacznie wyższe wartości maksymalnych modułów odkształcenia postaciowego niż destrukt betonowy ze ścinkami gumowymi. Wartości maksymalnych modułów odkształcenia czystego destruktu betonowego odpowiadają żywirowi o podobnym uziarnieniu, co wskazuje na dobre właściwości dynamiczne tego materiału antropogenicznego.
- Można zaobserwować wyraźną granicę odkształceń plastycznych i wpływ częstotliwości w badaniach cyklicznego skręcania zarówno na uzyskiwane maksymalne moduły ścinania, jak i na krzywą degradacji tego parametru.

Wybrane wnioski szczegółowe z przeprowadzonych prac badawczych

- Częstotliwości fal poprzecznych w badaniach piezoelementami między 5 a 33 kHz pozwoliły uzyskać stosunek $L/\lambda > 3$, co znacznie poprawiło sygnał odebrany w odbiorniku i wpłynęło na jakość badania.
- Przeprowadzone badania bezpośredniego ścinania na destrukcie betonowym wskazują, że podczas ścinania w średniowymiarowym aparacie bezpośredniego ścinania cząstki destruktu ulegają klinowaniu, co widoczne jest w postaci pików w charakterystyce naprężenie – odkształcenie.
- Kąty tarcia wewnętrzznego uzyskane z badań w średniowymiarowej skrzynce są większe niż kąty z wielkowymiarowej skrzynki, co świadczy o wystąpieniu efektu skali w tym materiale.
- Wprowadzenie ramek do wielkowymiarowego aparatu bezpośredniego ścinania zmienia charakter ścinania próbek tego materiału, co oznacza, że destruktu betonowy jest materiałem bardzo wrażliwym na sposób wykonywania badań.
- Wyniki badań ze zmodyfikowanego wielkowymiarowego aparatu bezpośredniego ścinania wykazują większą jednorodność niż rezultaty z badań standardowych.
- Podczas badań w średniowymiarowej skrzynce uzyskiwano różnice w naprężeniach ścinających sięgające 4 kPa, co powodowało otrzymanie większego o $1,2^\circ$ kąta tarcia wewnętrzznego w przypadku badań materiału powietrzno-suchego, jak i przy wilgotności optymalnej.
- W średniowymiarowym aparacie uzyskano następujące wyniki kąta tarcia wewnętrznego: próbek powietrzno-suchych: $41,5^\circ$, próbek o wilgotności optymalnej: $39,7^\circ$. W wielkowymiarowym aparacie bezpośredniego ścinania uzyskano następujące wyniki kąta tarcia wewnętrznego: próbek powietrzno-suchych: $40,3^\circ$, próbek o wilgotności optymalnej: $38,5^\circ$. Różnice w uzyskanych wynikach z dwóch aparatów świadczą o efekcie skali.
- Wraz ze wzrostem wilgotności spada wartość kąta tarcia wewnętrzznego zarówno w średniowymiarowym, jak i wielkowymiarowym aparacie bezpośredniego ścinania.
- W standardowym średniowymiarowym aparacie bezpośredniego ścinania uzyskano następujące wyniki kąta tarcia wewnętrznego: próbek powietrzno-suchych: $65,1^\circ$, próbek o wilgotności optymalnej około 8%: $38,4^\circ$, dla próbek o wilgotności około 12%: $32,4^\circ$.
- W zmodyfikowanym średniowymiarowym aparacie bezpośredniego ścinania uzyskano następujące wyniki kąta tarcia wewnętrznego: próbek powietrzno-suchych: $41,5^\circ$, próbek o wilgotności optymalnej około 8%: $39,9^\circ$, dla próbek o wilgotności około 12%: $38,7^\circ$.
- Wyniki badań CBR na podstawie wykonanego przeglądu literatury wskazują na wysoką nośność destruktu betonowego, która w zależności od sposobu przygotowania próbek do badań może się zawierać w granicach od 177 do 64%.
- Na podstawie wyników badań i analizy krzywych granulometrycznych zaobserwowano, że destruktu betonowy jest wyraźnie podatny na kruszenie się podczas zagęszczania.
- Wykonano również serie badań trójosiowego ściskania destruktu betonowego. Wykonane własne badania pozwoliły na określenie wartości efektywnego kąta tarcia wewnętrznego φ' , który jest równy 45° . Charakterystyka naprężenie – odkształcenie destruktu betonowego wyraźnie zależy od wartości mniejszego efektywnego naprężenia głównego σ'_3 . Przy wyższych wartościach tego naprężenia obserwuje się nie tylko większą wartość dewiatora naprężenia, ale także inny przebieg charakterystyki deformacji destruktu betonowego.

Wybrane dalsze kierunki badań powinny uwzględnić:

- Rozszerzenie spektrum badanych gruntów antropogenicznych o materiały takie jak żużle i popioły oraz ich mieszanki z destruktem betonowym.
- W dalszych pracach badawczych nad dynamicznymi parametrami gruntów należałoby zmienić uziarnienie badanej mieszanki tak, aby odpowiadała ona poszczególnym kryteriom stawianym konstrukcjom w inżynierii geotechnicznej.
- Badania badanie modułu ścinania destruktu betonowego zmieszanego z gumą w zmodyfikowanej kolumnie rezonansowej wszystkim trzema dostępnymi technikami, aby uwiarygodnić uzyskane parametry.
- Adaptację parametru cyklicznego modułu sprężystości do krajowego projektowania konstrukcji obciążonych cyklicznie.

- Dalsze badania powinny obejmować także zagadnienia reologii destruktu betonowego oraz jego wpływu na charakterystyki geotechniczne materiału.

Wybrana literatura:

1. Alshibli K.A., Alsaleh M.I. 2004. Characterizing surface roughness and shape of sands using digital microscopy. *Journal of Computing in Civil Engineering* 18(1), 36–45.
2. Arulrajah A., Piratheepan J., Ali M.M.Y., Bo M.W. 2012. Geotechnical properties of recycled concrete aggregate in pavement sub-base applications. *Geotechnical Testing Journal* 35(5), 743–751.
3. Arm M. 2003. Mechanical properties of residues as bound road materials. Doctoral Thesis, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
4. Aurstad J., Berntsen G., Petkovic G. 2006. Evaluation of unbound crushed concrete as road building material – Mechanical properties vs. field performance. 26th International Baltic Road Conference, Kuressaare.
5. Barbudo A., Galvin A., Agrela F., Ayuso J., Jimenez J. 2012. Correlation analysis between sulphate content and leaching of sulphates in recycled aggregates from construction and demolition wastes. *Waste Management* nr 32, 1229–1235.
6. Barksdale R.D. 1975. Test procedures for characterizing dynamic stress-strain properties of pavement materials. Transportation Research Board, Washington, D.C.
7. Bennert T., Papp JR. W.J., Maher A., Gucunski N. 2000. Utilization of construction and demolition debris under traffic-type loading in base and subbase applications. *Transportation Research Record* 1714, 33–39.
8. Brown S.F. 1979. The characterization of cohesive soils for flexible pavement design. *Proc. Design Parameters In Geotechnical Engineering*, British Geotechnical Society, London, England, 2, 15–22.
9. Brown S.F., Hyde A.F.L. 1975. Significance of cyclic confining stress in cyclic load triaxial testing of granular materials. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 537, 49–58.
10. Brown S.F. 1996. 36th Rankin Lecture: Soil mechanics in pavement engineering. *Géotechnique* 46(3), 383–426.
11. Camacho-Tauta J.F., Cascante G., da Fonseca A.V., Santos J.A. 2015. Time and frequency domain evaluation of bender element systems. *Géotechnique* 65, 548–562.
12. Darandeli M. 2001. Development of a new family of normalized moduli reduction and material damping curves [Ph. D. Thesis]. (Doctoral dissertation, Austin: University of Texas at Austin).
13. Deshpande Y.D., Hiller J.E. 2011. Pore characterization of manufactured aggregates: recycled concrete aggregates and lightweight aggregates. *Materials and Structures* Volume 45, Numbers 1–2, 67–79.
14. Drumm E.C., Reeves J.S., Madgett M.R., Trolinger W.D. 1997. Subgrade resilient modulus correction for saturation effects. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 123(7), 663–670.
15. Engelsen C., van der Sloot H., Wibetoe G., Justens H., Lund W., Stoltenberg-Hansson E. 2010. Leaching characterization and geochemical modeling of minor and trace elements released from recycled concrete aggregates. *Cement Concrete* Vol. 40, 1639–1649.
16. Engelsen C., Wibetoe G., van der Sloot H., Lund W., Petkovic G. 2012. Field site leaching from recycled concrete aggregates applied as sub-base material in road construction. *Science of Total Environment* 427–428, 86–97.
17. Gabryś K., Sas W., Soból E., Głuchowski A. 2016. Torsional shear device for testing the dynamic properties of recycled material. *Studia Geotechnica et Mechanica* 38(4), 15–24.
18. Gabryś K., Sas W., Soból E., Głuchowski A. 2017. Application of Bender Elements Technique in Testing of Anthropogenic Soil Recycled Concrete Aggregate and Its Mixture with Rubber Chips. *Applied Sciences* 7(7), 741.
19. Gawenda T. 2010. Problematyka doboru maszyn kruszących w instalacjach produkcji kruszyw mineralnych. *Górnictwo i Geoinżynieria* 34(4), 195–209.
20. Head K.H. 1986. *Manual of Soil Laboratory Testing*. Pentech Press Limited, Londyn.
21. Hardin B.O., Music J. 1965. Apparatus for Vibration of Soil Specimens during the Triaxial Test, Instruments and Apparatus for Soil and Rock Mechanics. ASTM STP 392, American Society for Testing and Materials, 55–74.
22. Hardin B.O., Drnevich V.P., Wang J., Sams C. 1994. Resonant Column Testing at Pressures up to 3.5 MPa (500 psi). *Dynamic Geotechnical Testing II*, ASTM Special Technical Publication No. 1213. R.I. Ebelhar, V.P. Dmevich and B.L. Kutter, American Society for Testing and Materials, 222–233.
23. Hardin B.O., Drnevich V.P. 1972. Shear modulus and damping in soils: measurement and parameter effects. *Journal of Soil Mechanics & Foundations Div*, 98 (sm6).
24. He H., Senetakis K. 2016a. The effect of grain size on Gmax of a demolished structural concrete: A study through energy dispersive spectroscopy analysis and dynamic element testing. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 89, 208–218.
25. He H., Senetakis K. 2016b. A study of wave velocities and Poisson ratio of recycled concrete aggregate. *Soils and Foundations* 56(4), 593–607.

26. Hendricks C.F., Janssen G.M.T. 2003. Use of recycled materials in constructions. *Materials and Structures* 36, 604–608.
27. Herrador R., Pérez P., Garach L., Ordóñez J. 2011. Use of recycled construction and demolition waste aggregate for road course surfacing. *Journal of Transportation Engineering* 138, 182–190.
28. IBDiM – Instytut Badawczy Dróg i Mostów 2004. Zespół autorów: Sybilski D., Kraszewski C. i współautorzy. Ocena i badania wybranych odpadów przemysłowych do wykorzystania w konstrukcjach drogowych. Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie.
29. Jaroń A., Jastrzębska M. 2015. Wpływ modyfikacji warunków gruntowych na redukcję amplitudy drgań w podłożu gruntowym oraz zwiększenie wydajności podczas pogrążania grodzic metodą wibracyjną. *Inżynieria Morska i Geotechnika* nr 3/2015, 390–396.
30. Jimenez J.R., Ayuso J., Agrela F., Lopez M., Galvin A.P. 2011. Utilization of unbound recycled aggregates from selected CDW in unpaved rural roads. *Resources, Conservation and Recycling* 58, 88–97.
31. Kabziński A. 2012. Prognoza potrzeb i produkcji kruszyw w Polsce w latach 2012–2020, <http://kruszpol.pl>
32. Kulkowska M. 2012. Analiza wpływu zastosowanej energii i metodyki zagęszczania granulatu z betonu cementowego na uzyskane parametry nośności i odkształcenia podbudowy drogowej. Praca inżynierska na kierunku budownictwo. Promotor: dr inż. Wojciech Sas. Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska.
33. Kryckij P.R., Trichês G. 2000. Use of civil construction waste in urban pavements: a feasibility study. In: *Proceedings of the 5th international symposium on environmental geotechnology and global sustainable development*.
34. Leite F.d.C., Motta R.d.S., Vasconcelos K.L., Bernucci L. 2011. Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements. *Construction and Building Materials* 25 (6), 2972–2979.
35. Lekarp F., Isacsson U., Dawson A. 2000. State of the art. I: Resilient response of unbound aggregates. *Journal of Transportation Engineering* 126(1), 66–75.
36. Lekarp F., Isacsson U., Dawson A. 2000. State of the art. II: Permanent strain response of unbound aggregates. *Journal of Transportation Engineering* 126(1), 76–83.
37. Lekarp F. 1999. *Resilient and Permanent Deformation Behaviour of Unbound Aggregates under Repeated Loading*, Kungliga Tekniska Högskolan (KTH): Stockholm.
38. Lipiński M. J. 2006. Małe... ale jak bardzo istotne. *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Budownictwo* 28, t. 1, 191–200.
39. Lipiński M.J., Wdowska M.K. 2012. A strain dependent stiffness of stiff cohesionless and cohesive soils. *Studia Geotechnica et Mechanica* 34(4), 53–67.
40. Łupieżowiec M. 2012. Modelowanie rozchodzenia się drgań powodowanych konsolidacją dynamiczną w ujęciu MES. *Inżynieria Morska i Geotechnika* nr 4/2012, 352–357.
41. Łupieżowiec M. 2015. Analiza zjawiska rozchodzenia się drgań powodowanych przez udarowe wzmacnianie podłoża. *Inżynieria Morska i Geotechnika* nr 3/2015, 247–251.
42. Marszałek J. (redaktor naukowy), Duda K., Młodożeniec W., Sancewicz S., Wolniewicz A. 2016. *Budownictwo komunikacyjne. Podręcznik*. Warszawa.
43. Melbouci B. 2009. Compaction and shearing behaviour study of recycled aggregates. *Construction and Building Materials* 23, 2723–2730.
44. Molenaar A.A.A., van Niekerk A.A. 2002. Effects of gradation, composition, and degree of compaction on the mechanical characteristics of recycled unbound materials. *Transportation Research Record* 1787, 73–82.
45. Molin C., Larsson K., Arvidsson H. 2004. Quality of reused crushed concrete strength, contamination and crushing technique. In: *Vazquez W., Hendriks C., Janssen G.M.T. (Eds.). International Rilem Conference on the Use of Recycled Materials in Building Structures*. RILEM Publications, Barcelona, Spain, 150–155.
46. O'Mahony M.M., Milligan G.W.E., 1991. Use of recycled materials in subbase layers. *Transportation Research Record* 1310, 73–80.
47. Papp W.J., Maher M.H., Bennert T.A., Gucunski N. 1998. Behavior of construction and demolition debris in base and subbase applications. *Recycled Materials in Geotechnical Applications* (79), 122–135.
48. Pater A., Dembicki E., Villard P. 2008. Modeling of rock fall using the discrete element method and study of the seismic signal. *Archives of Civil Engineering* Vol. 54, 2, 405–422.
49. Pilecki Z., Hraba P., Czarny R., Cielesta S., Pszonka J. 2014. Źródła drgań w sejsmice inżynierskiej. *Przegląd Górniczy* Nr 7, 22–31.
50. Poon C.S., Chan D. 2006. The use of recycled concrete aggregates in concrete in Hong-Kong. *Resource, Conservation and Recycling*, 50 (2007); 293–305
51. Powers M.C. 1953 A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology* 23 (2), 117–119.
52. Rafalski L. 2007. *Podbudowy drogowe*. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa.
53. Sas W., Szymański A., Malinowska E., Gabryś K. 2012. Geotechniczne uwarunkowania zastosowania materiałów antropogenicznych w budownictwie. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 4, 376–380.
54. Sas W., Głuchowski A. 2014. Nośność podłoża drogowego z destruktu betonowego na przykładzie badań CBR. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, 5, 149–154.

55. Sas W., Miszkowska A., Głuchowski A. 2015. Wpływ podatności destruktu betonowego na kruszenie oraz zmiany jego właściwości fizycznych i mechanicznych. Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 67, 40–53.
56. Seed H.B., Chan C.K., Lee C.E. 1962. Resilience Characteristics of Subgrade Soils and Their Relation to Fatigue Failures in Asphalt Pavement. Proc., International Conference on Structural Design of Asphalt Pavement. University of Michigan, Ann Arbor, 611–636.
57. Shull M., Allen D.L., Fleckenstein L.J., Graves C. 1998. Performance evaluation of recycled PCC pavement used as a crushed stone base and dense grade aggregate. Research report KTC 97-3.
58. Stokoe K.H., Hwang S.K., Lee J.K., Andrus R.D. 1995. Effects of various parameters on the stiffness and damping of soils at small to medium strains. In: PRE-FAILURE Deformation of Geomaterials. Proceedings of the International Symposium, 12–14 September 1994, Sapporo, Japan. 2 Vols.
59. Stokoe K.H., Darendeli M.B., Andrus R.D., Brown L.T. 1999. Dynamic soil properties: laboratory, field and correlation studies, Sêco e Pinto (ed.), Proceedings, Second Int. Conf. on Earthquake Geotechnical Engineering, Lisbon. 21–25 June 1999 (3), 811–845, Rotterdam, Balkema.
60. Świdziński W., Korzec A. 2015. Ocena dynamicznej odpowiedzi zapór ziemnych w świetle aktualnych uwarunkowań. Inżynieria Morska i Geotechnika nr 3/2015, 489–494.
61. Szerakowska S. 2014. Metody określania kształtu ziaren. W: Wiedza i eksperymenty w budownictwie. Praca zbiorowa pod redakcją Bzówka J., Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 208–213.
62. Vegas I., Ibanez J.A., Lisbona A., Saez de Cortazar A., Frias M. 2011. Pre-normative research on the use of mixed recycled aggregates in unbound road sections. Construction and Building Materials 25 (5), 2674–2682.
63. Viggiani G., Atkinson J.H. 1995. Interpretation of bender element tests. Géotechnique 45, 149–154.
64. Wichtmann, T. 2005. Explicit accumulation model for non-cohesive soils under cyclic loading. Praca doktorska, 38, Bochum.
65. Wichtmann, T., Niemunis, A., Triantafyllidis, T. 2015. Strain accumulation in sand due to cyclic loading: drained triaxial tests. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 25(12), 967–979.
66. Wilson A., Malin N., Ehrlich B. 2012. What you need to know about concrete and green building, BuildingGreen, Special Report: Reducing Environmental Impacts of Cement and Concrete, 5–10, 21–27.
67. Zabielska-Adamska K. 2012. Wybrane zastosowania materiałów odpadowych w geoinżynierii. Inżynieria Morska i Geotechnika nr 4/2012, 286–293.

Spis wybranych norm

1. PN-EN ISO 14688-1:2006. Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczenie i opis.
2. PN-EN ISO 14688-2:2004. Badania geotechniczne – oznaczenia i klasyfikowanie gruntów. Część 2 – Zasady klasyfikowania.
3. PN-EN 206-1 Beton – Część 1. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
4. PN-88/B-06250. Beton zwykły.
5. PN-EN 1997-2:2009. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
6. UEPG – Annual Review 2016–2017. A Sustainable Industry for Sustainable Europe. European Aggregates Association (11.12.2017).
7. WT-4:2010. Załącznik Nr 3 do Zarządzenia nr 102 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 19 listopada 2010 r.: Mieszanki niezwiązane do dróg krajowych. WT-4 2010. Wymagania Techniczne, Warszawa 2010.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych (artystycznych).

Poza podstawowym osiągnięciem naukowym opisanym w poprzednim punkcie autoreferatu, w trakcie pracy w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, prowadziłem także badania w obszarze gruntów naturalnych, gruntów przerobionych (zagęszczanych mechanicznie) oraz naturalnych zmodyfikowanych poprzez zabiegi stabilizacyjne. Podstawowy materiał badawczy stanowiły naturalne grunty spoiste i organiczne oraz inne materiały antropogeniczne.

Badania gruntów spoistych w warunkach obciążeń dynamicznych.

Współczesna geotechnika stawia nowe wyzwania zarówno przed projektantami, jak i wykonawcami konstrukcji inżynierskich. Szczególnie uwidacznia się to w gęstej zabudowie miejskiej, w której wszechobecne są drgania i wibracje. Źródeł obciążeń dynamicznych w aglomeracji miejskiej jest wiele, np. fundamenty maszyn, ruch miejski w tym ruch samochodowy, tramwajowy, ale również ruch pociągów metra pod powierzchnią, prace fundamentowe takie jak zagęszczanie dna wykopu,

wbijanie pali prefabrykowanych bądź ścianek szczelnych. Przytoczone obciążenia dynamiczne mogą powodować na styku grunt – konstrukcja odkształcenia rzędu $10^{-3}\%$ i mniejsze, które mogą być przyczyną dodatkowych osiadań lub znacznego zmniejszenia nośności podłoża budowlanego. Obszar Warszawy oraz województwa mazowieckiego znajduje się w zasięgu procesów geologicznych zachodzących w czwartorzędzie. Utwory wykształcone w tym okresie geologicznym w dużym stopniu stanowią grunty spoiste reprezentowane przez gliny i gliny piaszczyste. Grunty te znajdują się bezpośrednio od powierzchni terenu lub pod warstwą utworów antropogenicznych i zalegają w profilu do głębokości od kilku do kilkudziesięciu metrów. Praktycznie stanowią podłoże budowlane lub znajdują się bezpośrednio w ich otoczeniu. Poprawne zaprojektowanie konstrukcji, która jest poddana powtarzającym się obciążeniom, wymaga znajomości modułu odkształcenia postaciowego G oraz współczynnika tłumienia D glin w zakresie małych i średnich odkształceń. Dodatkowo moduł odkształcenia postaciowego jest podstawowym parametrem w przypadku projektowania konstrukcji, które oddziałują z dużymi obszarami gruntu tj. ściany szczelinowe, obudowy tuneli lub stacje metra. Istotność wymienionych parametrów będzie z czasem rosła, ponieważ problem drgań w nowoczesnych miastach będzie się pogłębiał, co ma związek z rozwojem infrastruktury tych obszarów. Przykłady, w których zastosowanie mają omawiane parametry zaprezentowałem w artykułach **Zal. 3 - A.II.3 i E.1.36**.

Dodatkowo z obciążeniami dynamicznymi ściśle wiąże się zagadnienie nieliniowości parametrów odkształceniowych jak i współczynnika tłumienia. To zagadnienie jako jeden z pierwszych przedstawili Jardine i in. (1984). Podzielili odpowiedź gruntu na obciążenie dynamiczne w zależności od odkształcenia na trzy strefy: sprężystą, sprężysto – plastyczną i plastyczną. Znajomość wartości modułu odkształcenia postaciowego i współczynnika tłumienia w każdej z tych stref jest bardzo istotna z praktycznego punktu widzenia. Już w 1974 Attewell i Farmer zwracali uwagę, że przemieszczenia pionowe nad osią drążonego tunelu w Londynie przekraczają 0,1% tylko bezpośrednio nad tunelem, natomiast w odległości ok 3m od tunelu wynoszą już tylko 0,05% i wraz z oddalaniem się od tunelu zmniejszają się. Takie same wnioski przedstawił również Kriegel i Weisner (1975), którzy prowadzili obserwację osiadań podłoża pod wysokim budynkiem mieszkalnym. Dlatego znajomość krzywej degradacji modułu odkształcenia postaciowego oraz krzywej wzrostu współczynnika tłumienia w zakresie zarówno małych, jak i średnich odkształceń jest niezwykle istotna. Omawiane krzywe do opisu gruntów spoistych z podłoża m. st. Warszawy zaprezentowałem w artykule **Zal.3 - E.I.11**.

Współczesne laboratoria geotechniczne proponują wiele technik, za pomocą których można wyznaczyć zarówno początkowe wartości modułu odkształcenia postaciowego i współczynnika tłumienia oraz ich charakterystyki odkształceniowe. Mimo rozwoju techniki, od początku powstania za urządzenie dostarczające najwiarygodniejszych parametrów dynamicznych uznaje się kolumnę rezonansową. Badanie w kolumnie rezonansowej polega na wprawieniu cylindrycznej próbki o wymiarach 140mm wysokości i 70mm średnicy w ruch skrętny bądź zginający. Można tego dokonać dzięki układowi napędowemu składającemu się z czterech uzwojeń i magnesów przytwierdzonych do krzyżaka napędowego, który przekazuje drgania bezpośrednio na górną część próbki. W zależności od charakteru badania pracują dwa (zginanie) lub cztery (skręcanie) magnesy. Podczas skręcania próbki możliwe jest zbadanie modułu odkształcenia postaciowego oraz współczynnika tłumienia podczas skręcania. Badanie polega na znalezieniu częstotliwości rezonansowej badanego gruntu i na tej podstawie wyznaczeniu prędkości fali poprzecznej. Następnie możliwe jest obliczenie modułu odkształcenia postaciowego G . Odkształcenie oblicza się na podstawie odczytów z akcelerometru. Procedura badawcza modułu odkształcenia postaciowego jest dość skomplikowana, dlatego opublikowałem szereg artykułów metodycznych: **Zal. 3 - E.I.24, E.I.32, E.II.11, E.II.14**. Poza szczegółowo opisaną metodyką badawczą modułu odkształcenia postaciowego, można w nich znaleźć schemat, opis budowy oraz działania kolumny rezonansowej. Dodatkowo w przytoczonych artykułach prezentowane są również wyniki badań omawianego modułu w postaci wcześniej wspomnianych krzywych degradacji modułu odkształcenia postaciowego.

Poza modułem G w kolumnie rezonansowej dzięki zginaniu próbki można także wyznaczyć prędkość podłużnej fali sejsmicznej, na podstawie której możliwe jest obliczenie współczynnika Poisson'a oraz modułu odkształcenia E . Początkowo procedura badawcza wygląda podobnie, ponieważ tak jak w badaniu G należy znaleźć częstotliwość rezonansową z tą różnicą, że należy zrobić to podczas zginania próbki. W dalszej części metodyka różni się zdecydowanie. Należy skorzystać z innych wzorów oraz innej wartości kalibracyjnej kolumny rezonansowej. Metodykę wyznaczania

współczynnika Poisson'a i modułu odkształcenia E oraz wyniki pomiarów tych parametrów opisałem w artykułach: **Zał. 3 - E.I.8, E.I.28 oraz E.I.30.**

Kolejnym parametrem dynamicznym, jaki można wyznaczyć w kolumnie rezonansowej, jest współczynnik tłumienia. Można go pomierzyć zarówno podczas skręcania jak i podczas zginania próbki gruntu. Jednak ze względu na to, że podczas skręcania generowana jest zdecydowanie bardziej niebezpieczna dla konstrukcji fala ścinająca, badania nad współczynnikiem tłumienia wykonywałem tą procedurą badawczą. Dodatkowo w kolumnie rezonansowej wyznaczenie tego parametru można przeprowadzić dwoma technikami badawczymi, mianowicie: przy użyciu krzywej gaśnięcia drgań swobodnych oraz dzięki analizie szerokości pasma połowy mocy. Pierwsza technika polega na wprawieniu cylindrycznej próbki w drgania z częstotliwością rezonansową przez określony przez użytkownika czas, a następnie wyłączeniu układu napędowego i pomiarze krzywej gaśnięcia drgań swobodnych. Na podstawie odpowiednio dobranej liczby cykli z krzywej gaśnięcia drgań swobodnych wylicza się logarytmiczny dekrement tłumienia δ , a na jego podstawie współczynnik tłumienia D. Wpływ czasu drgania próbki przed wyłączeniem układu napędowego na uzyskiwane wyniki współczynnika tłumienia można znaleźć w artykule **Zał. 3 - E.I.15.** W badaniach nad współczynnikiem tłumienia interesował mnie także wpływ liczby cykli uwzględniany w obliczeniach logarytmicznego dekrementu tłumienia, który bezpośrednio wpływał na wartości współczynnika tłumienia. Opisane zagadnienie zaprezentowane zostało w artykule **Zał. 3 - E.II.8.** Druga technika oparta jest na analizie wykresu zależności amplitudy drgań od częstotliwości, czyli tzw. krzywej rezonansowej. Metoda polega na identyfikacji trzech wartości częstotliwości. Mianowicie: częstotliwości rezonansowej oraz dwóch częstotliwości (przed i po rezonansie), dla których amplituda drgań wynosi 0,707 amplitudy w rezonansie. Na tej podstawie z prostych zależności wyznacza się współczynnik tłumienia. Porównanie parametru tłumienia uzyskanego obydwoma dostępnymi technikami w kolumnie rezonansowej przedstawione jest w artykule **Zał. 3 - E.I.5.**

Inna bardzo popularna technika służąca do wyznaczenia początkowych wartości modułu odkształcenia postaciowego, opiera się na pomiarze prędkości propagacji fali poprzecznej w próbce gruntu przy pomocy piezoelementów bender. Piezoelementy zamontowane są w piedestale i kopułce aparatu trójosiowego. Istota działania tych urządzeń opiera się o zjawisko piezoelektryczności. Mianowicie w elemencie ściskanym lub rozciągającym powstaje polaryzacja elektryczna. Zjawisko działa w dwie strony, tzn. że jeden z piezoelementów (nadajnik) deformuje się dzięki przyłożonemu napięciu generując impuls w postaci fali sejsmicznej, który powoduje odkształcenia rzędu $10^{-4}\%$, natomiast drugi (odbiornik), odbierając zaburzenie, przekształca deformację na napięcie. Podstawy metodyki pomiaru fal sejsmicznych za pomocą piezoelementów bender opisałem w artykule **Zał. 3 - E.I.27.** Za pomocą piezoelementów można odbierać i zadawać zarówno fale poprzeczną, jak i podłużną, dzięki czemu możliwe jest oszacowanie początkowych wartości nie tylko parametrów odkształceniowych, ale również współczynnika Poisson'a. Jednakże poprawna interpretacja otrzymanego sygnału stanowi dyskusję od początku istnienia tej metody badawczej. W praktyce używa się dwóch głównych technik interpretacyjnych: analizę w domenie czasu oraz analizę w domenie częstotliwości. Zdecydowanie bardziej popularna i prostsza jest analiza w domenie czasu. W jej obrębie dominują dwie metody. Pierwsza opiera się o identyfikację szczytu fali nadanej i odebranej (z ang. peak to peak), druga o wyznaczenie miejsca wejścia nadanej fali do odbiornika (z ang. start to start). Wszystkie niuanse przytoczonych technik, podstawowe założenia, jakie należy spełnić, aby poprawnie interpretować odebrane sygnały fal sejsmicznych oraz wyniki parametrów odkształceniowych i współczynnika Poisson'a otrzymane za pomocą omawianych metod, zaprezentowałem się w artykule **Zał. 3 - A.I.6.**

Parametry wyznaczone w oparciu o pomiar fal sejsmicznych za pomocą piezoelementów, są często kwestionowane ze względu na subiektywizm interpretacji fali odebranej w nadajniku. W związku z tym powstał nowy trend, aby porównywać uzyskane parametry dynamiczne różnymi metodami. Początkowo porównywałem parametry uzyskane z badań piezoelementami bender w aparacie trójosiowym z badaniami prowadzonymi w kolumnie rezonansowej na tych samych gruntach. Tego rodzaju analiza porównawcza znajduje się w pracy **Zał. 3 - E.I.16.** Kolejnym etapem było porównanie użytych laboratoryjnych technik z pomiarami in – situ przy pomocy sondowania SCPTU. Wyniki tych prac przedstawia artykuł **Zał. 3 - A.II.4.** Minusem tego rodzaju porównań był fakt, iż próbki badane były w różnych aparatach, w związku z czym nie były zapewnione identyczne warunki badania obu próbek. Dodatkowo, należy stwierdzić, że grunt nie jest materiałem izotropowym, dlatego nie jest możliwe przygotowanie dwóch identycznych próbek. Wyjściem z tego problemu okazała się

gruntowna modyfikacja kolumny rezonansowej. Pierwszym jej elementem było wyposażenie piedestału i kopułki kolumny w piezoelementy bender do pomiaru prędkości fal sejsmicznych. Drugą część modyfikacji stanowiło urządzenie pozwalające na cykliczne skręcanie próbki przy niskich częstotliwościach (0,1 – 10 Hz), dzięki czemu możliwa była rejestracja pętli histerezy nawet w zakresie małych odkształceń. Przebieg pętli histerezy umożliwia wyznaczenie modułu odkształcenia postaciowego ze stosunku naprężenia ścinającego do odkształcenia postaciowego oraz oszacowanie współczynnika tłumienia na podstawie energii zgromadzonej i rozproszonej w jednym cyklu obciążeniowym. Dzięki takiemu zabiegowi powstało kompletne urządzenie do badania dynamicznych parametrów gruntowych wszystkimi dostępnymi w laboratorium technikami na jednej i tej samej próbce w takich samych warunkach. Bardziej szczegółowy opis przeprowadzonej modyfikacji oraz analiza porównawcza parametrów otrzymanych różnymi technikami badawczymi znajduje się w publikacjach: **Zał. 3 - E.I.2, E.I.7, E.I.9** oraz **E.II.5**.

Aparatura do wyznaczania dynamicznych parametrów gruntów w szerokim zakresie odkształceń nie stanowi powszechnego wyposażenia laboratorium geotechnicznego. W związku z tym projektanci są często zmuszeni do korzystania z dostępnych empirycznych zależności opartych o podstawowe parametry gruntowe, dzięki którym mogą wyznaczyć trudne do pomiaru parametry dynamiczne. Widząc tę potrzebę, w artykule **Zał. 3 - A.I.1** na podstawie badań w kolumnie rezonansowej zaproponowałem dwie zależności opisujące maksymalny moduł odkształcenia postaciowego trzynastu rodzajów gruntów spoistych występujących w obszarze Warszawy i różniących się uziarnieniem i wskaźnikiem plastyczności. Jedynym parametrem użytym w równaniach było średnie naprężenie efektywne, co zapewniało prostotę prezentowanego modelu. W artykule **Zał. 3 - E.I.4** przedstawiłem zastosowanie zmodyfikowanego modelu hiperbolicznego do wyznaczenia znormalizowanych wartości modułu odkształcenia postaciowego oraz znormalizowanego współczynnika tłumienia dla dwóch rodzajów gruntów spoistych z podłoża obszaru Warszawy. W pracy wykazałem, że zmodyfikowany model hiperboliczny dobrze oddaje nieliniowość wspomnianych parametrów. Innym istotnym aspektem zbadanym przeze mnie był wpływ czasu konsolidacji na moduł odkształcenia postaciowego. Określenie tego rodzaju zależności ma duże znaczenie z praktycznego punktu widzenia. Okazało się, że moduł odkształcenia postaciowego rośnie wraz ze wzrostem czasu konsolidacji. Wzrost wartości modułu może osiągnąć nawet 50% w ciągu pierwszych 1000 minut konsolidacji. Bardziej szczegółowy opis zależności modułu G podałem w publikacji **Zał. 3 - A.I.8**.

W mojej ocenie, prezentowane w publikacjach wyniki badań i analiz parametrów gruntów spoistych w zakresie obciążeń dynamicznych doprowadziły przede wszystkim do popularyzacji i uściślenia laboratoryjnych metod badawczych zarówno modułu odkształcenia postaciowego, jak i współczynnika tłumienia. Dodatkowo zaproponowałem dwie zależności empiryczne umożliwiające policzenie maksymalnego modułu odkształcenia postaciowego glin z obszaru Warszawy. Ponadto potwierdziłem przydatność zmodyfikowanego modelu hiperbolicznego do opisu gruntów spoistych w regionalnych warunkach geologicznych. Niemniej jednak dynamika gruntów to dziedzina geotechniki, która rozwija się bardzo szybko, w związku z czym zamierzam nadal prowadzić badania, wykorzystując coraz nowsze techniki, dzięki którym możliwe będzie wyznaczenie nowych, bardziej uniwersalnych zależności empirycznych oraz przeniesienia obecnych doświadczeń na grunty spoiste występujące w innych rejonach Polski.

Badania przerobionych gruntów spoistych w warunkach obciążeń cyklicznych.

Przy projektowaniu budowli ziemnych i konstrukcji drogowych duże znaczenie ma wiedza o właściwościach mechanicznych gruntu tj. wytrzymałości i sztywności materiału. Wytrzymałość ośrodka gruntowego, rozumiana jako nośność w akceptowalnym zakresie odkształceń, wyznacza maksymalną wartość obciążenia, jaką przenieść może grunt, a sztywność podłoża gruntowego odpowiada z kolei za wielkość przemieszczeń w podłożu gruntowym. Parametry opisujące zarówno nośność jak i sztywność podbudowy nawierzchni drogowej czy budowli ziemnej różnią się między sobą. Dlatego parametry opisujące wytrzymałość na ściskanie są wykorzystane do zaprojektowania maksymalnej wartości obciążenia konstrukcji. Parametry opisujące sztywność konstrukcji drogowej pozwalają na określenie przemieszczeń nasypu w wyniku obciążenia statycznego, a także dynamicznego - cyklicznego w zakresie obciążeń krótko i długo - terminowych. Dodatkowo wykonane przeze mnie porównanie parametrów otrzymanych z badań dynamicznych i cyklicznych wskazuje na duże różnice pomiędzy nimi, ze względu na inny rodzaj mechanizmu rozpraszania energii

obciążania w obu przypadkach. Bardziej szczegółowy opis tych różnic przedstawiłem w publikacji **Zał. 3 - E.II.10**.

W przypadku charakterystyk deformacji gruntu w trakcie długotrwałych obciążeń cyklicznych zdecydowałem się skorzystać z opisu zaproponowanego w teorii dostosowania (Sharp i Booker 1984). Teoria ta która dzieli możliwą reakcję gruntu na obciążenia cykliczne, na trzy charakterystyki (Werkmeister i in. 2001, Garcia-Rojo i Hermann 2005), które są zależne przede wszystkim od wartości dewiatora naprężenia działającego na grunt. Przeprowadziłem, razem z zespołem badawczym, badania jednoosiowego cyklicznego ściskania na gruncie spoistym przerobionym tj. ponownie zagęszczonym w warunkach wilgotności optymalnej. Badania gruntów przerobionych są istotne ze względu na ich obecność w wierzchniej warstwie podłoża gruntowego, która jest poddana największym wartościom naprężeń przenoszonych przez konstrukcję i która jest często poddawane także zabiegom wzmocnienia. W wyniku przeprowadzonych badań zaobserwowałem, że grunt spoisty w inny sposób reaguje na obciążenie cykliczne niż grunt niespoisty. W celu lepszego opisu zdecydowałem się wykorzystać metodę analizy zmiany powierzchni pętli histerezy, która z kolei pozwalała na określenie wielkości zmian rozproszenia energii obciążenia. Wynikiem przeprowadzonej analizy było wyprowadzenie kryterium dostosowania $\log_{10}(dE^P/dE^E)$, które pozwoliło na zrozumienie procesu dostosowania w gruntach spoistych oraz zaobserwowanie, że w tych gruntach granica pomiędzy poszczególnymi reakcjami nie jest ostra. Bardziej szczegółowy opis tej zależności podałem w publikacji **Zał. 3 - A.I.3**. Dalszym etapem prac zamieszczonych w artykule **Zał. 3 - A.II.7** nad charakterystyką deformacji gruntów spoistych przerobionych były badania cyklicznego trójosiowego ściskania, w których skupiono się nad badaniami w warunkach bez odpływu, a których zadaniem było zrozumienie reakcji gruntu na długookresowe obciążenie cykliczne. W wyniku przeprowadzonych badań zaobserwowałem, że przy długookresowym obciążeniu cyklicznym przy zadanym dewiatorze naprężenia, grunt będzie reagował w postaci plastycznego dostosowania, to znaczy po określonej liczbie cykli pomiędzy kolejnymi cyklami nie będzie można zaobserwować odkształceń plastycznych, ale będą się one pojawiały po kilku lub kilkudziesięciu cyklach obciążenia. W artykule **Zał. 3 - E.I.3** przedstawiłem wyniki wykonanych badań jednoosiowego ściskania gruntu spoistego przerobionego, którego zadaniem było określenie przebiegu przyrostu odkształceń plastycznych w warunkach wieloetapowego obciążenia cyklicznego. Zaobserwowałem że grunt spoisty poddany takiemu obciążeniu będzie akumulował odkształcenia plastyczne. Zaobserwowałem, że grunt spoisty wykazuje zdolność do akumulacji energii obciążenia, która charakteryzuje się zjawiskiem odprężenia przy obniżeniu aktualnie panującego dewiatora naprężenia, co przypomina zjawisko konsolidacji gruntu z odprężeniem. Zakres badań mających na celu ustalenie charakterystyki przyrostu odkształceń plastycznych w obciążeniach cyklicznych rozszerzyłem o badania w cyklicznym aparacie trójosiowego ściskania. Badania na gruncie spoistym przerobionym zostały przeprowadzone w warunkach bez odpływu. Grunt ten przed właściwymi badaniami został skonsolidowany w warunkach anizotropowych, w celu lepszego oddania warunków in situ. Na podstawie wyników badań zaproponowaliśmy równania, które pozwalają na obliczenie wartości odkształcenia plastycznego, a także nadwyżki ciśnienia wody w porach. Zaobserwowałem także spadek sztywności gruntu przy długookresowym obciążeniu cyklicznym, co zidentyfikowałem jako zjawisko zmęczenia. Szczegółowe wyniki i obserwacje przedstawiłem w artykule **Zał. 3 - E.I.6**.

W przypadku obciążeń cyklicznych istotnym parametrem wykorzystywanym w krajach zachodnich oraz w Stanach Zjednoczonych do projektowania konstrukcji drogowych, jest cykliczny moduł sprężystości M_r , stosowany zamiast modułu Younga E (Davich i in. 2004) W lepszym stopniu odwzorowuje on cykliczne warunki obciążenia podbudowy oraz dokładniej odwzorowuje pracę warstw konstrukcyjnych nawierzchni drogowej. Cykliczny moduł sprężystości bazuje na pomiarach naprężenia i odkształcenia w przypadku szybkozmiennych obciążeń. Wartość tego modułu jest otrzymywana w wyniku przeprowadzenia cyklicznego badania trójosiowego ściskania. Moduł M_r zdefiniowany jest jako stosunek amplitudy naprężenia $\Delta\sigma$ w danym cyklu do odkształcenia sprężystego ε_r gruntu. Obecnie norma PN-EN 13286-7 uporządkowuje sposób badania wartości cyklicznego modułu sprężystości. Norma ta odnosi się do gruntów grubo okruchowych, które zwykle stanowią materiał wbudowany w konstrukcję podbudowy drogowej. W celu szerszej charakterystyki konstrukcji drogowej wykonałem badania cyklicznego trójosiowego ściskania gruntów spoistych przerobionych. Badania te można traktować jako porównanie właściwości gruntów spoistych i niespoistych. Zaobserwowałem także, że wartość M_r zależy w dużej mierze od naprężenia konsolidacji. Szczegółowe informacje dotyczące tej tematyki podałem w artykule **Zał. 3 - E.I.18**. Ze

względem na dosyć skomplikowany proces związany z badaniami mającymi za zadanie otrzymanie wartości cyklicznego modułu sprężystości, które wykorzystują aparat trójosiowego ściskania, podjąłem się zadania wyznaczenia sposobu obliczenia tego parametru na podstawie badań dynamicznych przy wykorzystaniu wartości maksymalnego modułu sztywności G_{max} . Na podstawie wykonanych badań cyklicznego trójosiowego ściskania oraz badań w kolumnie rezonansowej otrzymałem charakterystyki modułów M_r oraz G , a następnie na podstawie analizy tych charakterystyk zaproponowałem zależność empiryczną, która pozwala na obliczenie wartości cyklicznego modułu sprężystości dla gruntów spoistych przerobionych. Wszystkie szczegóły przytoczonych metod oraz wyniki analizy i badań przedstawiłem w artykule **Zał. 3 - A.II.3**.

Równolegle do badań przeprowadzanych w warunkach jednoosiowego i trójosiowego ściskania rozwijałem także nową metodę badań nazwaną metodą cyklicznego CBR (cCBR). Nazwę tej metody przyjąłem za literaturą zagraniczną (Araya 2011), w Polsce nie była jeszcze dotąd przedstawiana. Metoda ta polega na wykonaniu standardowego badania CBR do głębokości penetracji tłoka maszyny CBR równej 2,5mm. Kolejnym etapem jest odciążenie które wykonuje się do wartości 10% siły zanotowanej przy penetracji na głębokości 2,5mm. Proces obciążenia cyklicznego powtarza się następnie w zakresie siły maksymalnej i minimalnej. Przez około 50-60 cykli do osiągnięcia przez próbkę gruntu odkształcenia plastycznego mniejszego niż 3-5% przemieszczeń całkowitych w jednym cyklu. Niewątpliwą zaletą tej metody jest jej prostota i szeroka odstępność aparatury badawczej. Szczegóły metodyki badawczej przedstawiłem w artykule **Zał. 3 - E.I.35**. Metoda ta w celu zastosowania jej w drogownictwie wymaga normalizacji, a wyniki uzyskane tą metodą powinny dawać projektantom konkretne i wiarygodne parametry materiału. Z tego powodu podjąłem się zadania wyprowadzenia zależności pomiędzy wynikami badań cCBR i wynikami badań jednoosiowego i trójosiowego ściskania. W artykule **Zał. 3 - E.I.26** przedstawiłem wyniki badań cCBR, w których zaobserwowałem, że charakterystyka akumulacji odkształceń plastycznych ma podobny przebieg jak w badaniach jednoosiowego i trójosiowego ściskania. W artykule **Zał. 3 - E.I.29** wykonałem analizę wyników badań cCBR, a także zaproponowałem wykorzystanie równań analitycznych, które modelują przyrost przemieszczeń w badaniu cCBR. W dalszym etapie rozwoju metody cCBR zaproponowałem to badanie jako metodę do wyznaczenia stałej jednostajnego sprężystego ściskania c_u , która jest elementem modelu Barkana pozwalającego na obliczenie osiadań podłoża gruntowego pod fundamentem. Szczegółowy opis badań znajduje się w artykule **Zał. 3 - E.I.25**. Zaproponowałem równania, które pozwalają na bezpośrednie przeliczenie wartości cyklicznego modułu sprężystości otrzymanego na podstawie badań cCBR (M_{rCBR}) na wartość cyklicznego modułu sprężystości (M_r). Równania te są wynikiem przeprowadzonych przeze mnie badań jednoosiowego i trójosiowego cyklicznego ściskania i badań cCBR na gruntach spoistych przerobionych. Szczegóły zaprezentowałem w artykule **Zał. 3 - E.I.1**.

Badania stabilizowanych gruntów spoistych.

W przypadku konstrukcji posadowionych na gruntach spoistych istnieje ryzyko wystąpienia nadmiernych osiadań podłoża, a nawet utraty jego nośności. Jedną z podstawowych metod poprawy właściwości mechanicznych tego typu materiałów jest przeprowadzenie zabiegu zagęszczenia. Jednak w niektórych przypadkach jest to działanie niewystarczające. Inną metodą jest stabilizacja chemiczna, gdzie najczęściej spotykanym rodzajem stabilizatora jest wapno oraz cement (Little 1995, Azadegan i in. 2013). Wpływ stabilizacji na właściwości mechaniczne gruntów spoistych jest wciąż tematem aktualnym w kraju i za granicą. W celu lepszego zrozumienia tego zjawiska przeprowadziłem badania jednoosiowego ściskania gruntu spoistego stabilizowanego mieszanką o nazwie Reymix. Do analizy kryterium granicy sprężystości wykorzystałem metodę umownej granicy sprężystości przy 0,02% odkształceń. Na podstawie wyników badań wykazałem jednak, że w tym przypadku należy korzystać ze zwiększonego kryterium do 0,05%. Ponadto wywnioskowałem na podstawie badań, że kryterium plastyczności wg. Von Misesa jest właściwe dla spoistych gruntów stabilizowanych. Szczegóły dotyczące tego tematu przedstawiłem w artykule **Zał. 3 - E.I.17**. Wyniki badań gruntów spoistych wskazują, że charakteryzuje je duża zmienność właściwości fizycznych i mechanicznych, w zależności od spoistości gruntu. Dla gruntów o niskiej zawartości frakcji ilastej obserwuje się większą nośność niż w przypadku gruntów bardziej spoistych. W celu rozpoznania wpływu stabilizacji cementem na ten rodzaj gruntów wykonałem badania jednoosiowego ściskania. W wyniku analizy otrzymanych rezultatów zaobserwowałem, że tego rodzaju grunty stabilizowane wykazują właściwości materiałów kruchych jak miękkie skały. Dodatkowo zaproponowałem zależności empiryczne, które pozwalają na obliczenie wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie w zależności od

czasu stabilizacji dla nasyconego i nienasyconego materiału. Szczegóły można podać w artykule **Zal. 3 - E.I.20**. W artykule **Zal. 3 - E.I.21** podjąłem się tematyki stabilizacji wapnem dla gruntów spoistych o niskiej wartości granicy płynności. Wykonałem badania jednoosiowego ściskania, na podstawie których zaproponowałem zależności pozwalające obliczyć optymalną zawartość wody przy wykonywaniu stabilizacji próbek gruntu oraz zależność, która pozwala na obliczenie wartości maksymalnej wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie na podstawie badań CBR. Dla gruntów stabilizowanych wapnem wykonałem także analizę, która pozwoliła na zaproponowanie przez mnie zależności pozwalającej na obliczenie wartości cyklicznego modułu sprężystości. Szczegółową analizę zaprezentowałem w artykule **Zal. 3 - E.I.22**. Badania gruntów stabilizowanych przeprowadziłem także z zastosowaniem metody cCBR (Nazarian et al. 1996, Araya 2011). Celem tych badań było ustalenie charakterystyki naprężenie - przemieszczenie i porównanie wpływu stabilizacji na wartość M_r , co pokazałem w artykule **Zal. 3 - E.I.33**. Ważnym tematem w dziedzinie budownictwa drogowego jest koleinowanie (Wang i in. 2010). Proces ten obserwujemy na powierzchni nawierzchni drogowej, może on jednak zachodzić w głębszych warstwach. Szczególnym przypadkiem koleinowania jest proces deformacji plastycznych podłoża gruntowego. Ze względu na dużą podatność gruntów spoistych na deformację zdecydowałem się zbadać ten proces w przypadku gruntów stabilizowanych. Analiza wyników badań pozwoliła na zastosowanie modelu plastycznej deformacji w badaniach cCBR oraz na predykcję procesu koleinowania spoistego gruntu stabilizowanego. Szczegółowe informacje dotyczące koleinowania zaprezentowałem w artykule **Zal. 3 - E.I. 23**.

Badania destruktu betonowego stabilizowanego gumą i wapnem oraz gipsem.

Destrukt betonowy jest materiałem po recyklingu, może być ponownie wykorzystany w budownictwie komunikacyjnym jako materiał wbudowany w warstwę podbudowy zasadniczej lub pomocniczej Poon i in. (2006), Little i Nair (2009), Ghatgate i Rakaraddi (2014). Rozważania dotyczące właściwości fizycznych, mechanicznych i wpływu na środowisko destruktu betonowego zmieściłem w artykule **Zal. 3 - E.II.2**. Interesującymi kierunkami badań tego materiału są także mieszanki destruktu betonowego z destruktem gumowym i ich zachowanie w warunkach cyklicznego obciążania. Dla potrzeb praktycznych wykonałem badania cCBR kilku mieszanek, które pozwoliły na zidentyfikowanie właściwości mechanicznych materiału. Wykazałem, że mieszanka charakteryzuje się mniejszą sztywnością, jednak jest ona bardziej elastyczna, co stwarza możliwość do zastosowania jej w miejscach, gdzie takie właściwości wbudowanego materiału są pożądane. Bardziej szczegółowy opis zawarłem w artykule **Zal. 3 - A.II.1**. W celu zwiększenia nośności destruktu betonowego zdecydowałem się zbadać potencjalny wpływ dodatku wapna i gipsu do mieszanki destruktu betonowego. Otrzymane wyniki badań cCBR charakteryzują się większymi wartościami cyklicznego modułu sprężystości oraz mniejszymi przemieszczeniami po 50 cyklach obciążania. Szczegóły badań zamieściłem w artykule **Zal. 3 - A.II.2**.

Badania żużli stalowniczych wykorzystywanych w konstrukcjach drogowych.

Badania materiałów antropogenicznych poszerzyłem o rozpoznanie żużli stalowniczych w kierunku potencjalnych zastosowań w konstrukcjach drogowych. Badania obejmowały wybrane właściwości chemiczne oraz mechaniczne materiału. Wymienione właściwości wymagają potwierdzenia ich jakości środowiskowej i technicznej zgodnie z WT-4 (2010). Badania środowiskowe obejmowały określenie zawartości metali ciężkich, siarczanów, chlorków w materiale. Badania właściwości mechanicznych dotyczyły określenia kalifornijskiego wskaźnika nośności materiału w warunkach pełnego nasycenia oraz w warunkach wilgotności optymalnej zagęszczenia materiału. Badania obejmowały także określenie zachowania się materiału w warunkach obciążeń cyklicznych. Wyniki badań przedstawiłem w publikacjach **Zal. 3 - A.I.7** oraz **E.II.12**. W publikacji **Zal. 3 - A.I.7** przedstawiłem też zależności empiryczne uzależniające wartości CBR żużli w warunkach wilgotności optymalnej oraz w warunkach pełnego nasycenia od kilku parametrów fizycznych materiału. Zależności mają też swoje odniesienia do badań terenowych płytą statyczną (VSS). Przedstawione wyniki pokazują, że chemiczne i mechaniczne właściwości żużli stalowniczych nie odbiegają od wartości uzyskanych dla materiałów naturalnych. Jednakże materiał ten ze względu na jego specyfikę wymaga potwierdzenia jego właściwości dalszymi badaniami w laboratorium oraz w terenie.

Badania wpływu przemarzania na przewodność hydrauliczną materiałów stosowanych do konstrukcji zielonych dachów.

Zagadnienie zielonych dachów jest bardzo istotne przy projektowaniu przyjaznych środowiskowo budynków oraz powiększaniu powierzchni retencji wód opadowych, szczególnie w terenach silnie zurbanizowanych (Szajda-Brinfeld i in. 2012). W publikacji **Zał. 3 - A.II.6.** zaprezentowałem wyniki wspólnych badań, przeprowadzonych na kilku materiałach: naturalnych, sztucznych i antropogenicznych. Zaprezentowałem zmiany wyjściowego uziarnienia materiału po 30 i 70 cyklach zamrażania i rozmrażania. Wyniki powyższe zestawilem z wynikami zmiany przewodności hydraulicznej zamrażanych i rozmrażanych materiałów. Badania uważam za ciekawe i warte prowadzenia dalszych analiz w kierunku zwiększenia efektywności retencji wód opadowych.

Badania gruntów organicznych.

Konieczność wznoszenia i utrzymania obiektów budowlanych na podłożu organicznym wymaga właściwego prognozowania odkształceń podłoża gruntowego z wykorzystaniem parametrów geotechnicznych. Podłoże nasypów ziemnych w dolinach rzek stanowią często słabe grunty mineralne oraz organiczne zbudowane z torfów, gytii oraz namulów zarówno mineralnych, jak i organicznych. Grunt organiczny powstaje głównie w wyniku rozkładu resztek roślinnych i zwierzęcych, czyli martwej substancji organicznej, przy aktywnym udziale bakterii. Intensywność tego procesu zależy w głównej mierze od dostępu tlenu oraz wilgotności (Adams 1965, Maksimow 1965, Maciak i Liwski 1972, Borys 1993). Grunty organiczne charakteryzują się małymi wartościami parametrów wytrzymałościowych, wykazują duże wartości odkształcenia podłoża wywołanego budowlą, w kierunku pionowym i poziomym pojawiającego się podczas budowy i po jej zakończeniu, oraz dużą wrażliwość na zdolność bezpiecznego przenoszenia obciążeń lub brak dostatecznej nośności.

Szczególne właściwości gruntów organicznych, jak duża odkształcalność oraz możliwość przeciążenia podłoża prowadząca do utraty stateczności wymaga wyboru metody budowy prowadzącej do optymalnego rozwiązania pod względem ekonomicznym i technicznym (Hartlen i Wolski 1996). Jedną z metod dostosowania obciążenia jest posadawianie nasypów wznoszonych etapowo (Szymański 1991, Lechowicz 1992, Hartlen i Wolski 1996). Projektowanie obejmuje wówczas między innymi określenie tempa przyrostu obciążenia, zależnego od wzrostu wytrzymałości na ścinanie podczas konsolidacji. Obliczenia projektowe obejmują analizę stateczności, uwzględniającą wzrost wytrzymałości, wyznaczoną na podstawie prognozy przebiegu odkształceń podłoża.

Na proces konsolidacji gruntów o dużej ściśliwości składają się (Berry i Poskit 1972, Koda 1990, Den Haan 1996, Sas 2001, Szymański i Sas 2001): natychmiastowe odkształcenia pęcherzyków fazy gazowej wody w porach oraz deformacja szkieletu pod wpływem naprężenia efektywnego. Pierwsze odkształcenie przyjmuje się równe odkształceniom sprężystym. Drugie są związane ze zmniejszeniem się objętości gruntu i stopniową jego konsolidacją. Czas trwania odkształceń konsolidacyjnych przy stałym obciążeniu zależy od przepuszczalności gruntu i jest tym dłuższy, im mniejsza jest jego przepuszczalność. Ponadto występują odkształcenia wtórne, które są wynikiem długotrwałych odkształceń strukturalnych gruntu (pełzania). Prędkość tych odkształceń uzależniona jest od właściwości reologicznych gruntu (lepkości); im większa jest lepkość strukturalna gruntu, tym proces pełzania szkieletu jest dłuższy.

Wyniki badań prowadzonych przez wielu badaczy (Berry i Poskit 1972, Edil i Dhowian 1979, Wolski i in. 1988, Sas 2001, Szymański i Sas 2001) wskazują, że charakterystyki opisujące proces konsolidacji gruntów organicznych są nieliniowe, co w znacznym stopniu utrudnia wykorzystanie ich w metodach obliczeniowych. Nieliniowość ta wynika nie tylko ze zmiany stanu gruntu, lecz również z dużej anizotropii naprężenia w podłożu i jej zmienności w procesie deformacji (Wolski i in. 1988). Ponadto duża ściśliwość gruntów organicznych powoduje konieczność uwzględnienia zmiennej geometrii podłoża w trakcie obliczeń konsolidacji, co prowadzi do nieliniowych związków geometrycznych w rozwiązaniach numerycznych. Bardziej skomplikowany niż w gruntach mineralnych przebieg odkształceń wymaga stosowania metod obliczeniowych opartych na złożonych modelach gruntu uwzględniających odmienność zachowania się gruntów organicznych pod obciążeniem. Niezbędnym więc jest poprawne oszacowanie parametrów lub charakterystyk odkształceniowych gruntów opisujących poszczególne etapy procesu odkształcenia. Charakterystyki definiujące proces odkształcenia uzależniają wartość parametru od stanu naprężenia i czasu dla danego rodzaju gruntu.

Prace badawcze i rozważania naukowe dotyczące problematyki odkształceń gruntów organicznych prowadziłem od rozpoczęcia pracy w SGGW tj. od 1983 roku. Wyniki badań, w których uczestniczyłem, posłużyły do opracowania w Katedrze Geotechniki wytycznych metodyki badań gruntów organicznych oraz metodyki budowy nasypów na gruntach słabych. Ponadto prezentowane były w różnych raportach katedry oraz w raportach Norweskiego Instytutu Geotechnicznego. Dotyczyły one wyników i analiz badań podłoża organicznego: torfów, gytii i namulów obciążonego nasypami budowanymi etapowo. Prace prowadzone były bezpośrednio na poligonach badawczych Katedry Geotechniki SGGW w Antoninach i Mielimące oraz na pobranym materiale w laboratorium geotechnicznym. Badania terenowe, w których uczestniczyłem obejmowały badania polowe sondą krzyżakową, sondą BAT, sondą CPT, pobieranie próbek NNS sondą Borros. Badania laboratoryjne, które przeprowadziłem, obejmowały badania w jednoosiowym stanie odkształcenia (IL, CRS), badania wytrzymałościowe w aparacie trójosiowego ściskania, badania pełzania z wykorzystaniem edometrów oraz stanowisk trójosiowego ściskania, badania przepuszczalności, badania bezpośredniego ścinania, badania modelowe. Uczestniczyłem w opracowywaniu uzyskanych wyników badań oraz ich analizie. Wykonywałem także obliczenia osiadań i konsolidacji podłoża obciążonego nasypami.. Wyniki badań opublikowałem w publikacjach **Zal. 3 - E.I.50 – E.I.58**. Efektem więczącym ten etap prac było przygotowanie i obrona w 2001 roku pracy doktorskiej na Wydziale Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW w Warszawie. Tytuł pracy: „Modelowanie odkształceń gruntów organicznych z uwzględnieniem zmian właściwości ośrodka”. Po doktoracie nadal prowadziłem badania gruntów organicznych w wyżej omówionej tematyce, poszerzając zakres badanych gruntów organicznych. Prace obejmowały także badania przepuszczalności z uwzględnieniem nieliniowych charakterystyk przepływu wody przez grunty organiczne oraz poszukiwanie gradientów początkowych filtracji ustalonej. Analizy dotyczyły także zmian przepuszczalności pionowej i poziomej wywołanych konsolidacją podłoża organicznego. Rozważania naukowe obejmowały także problematykę wydzielenia poszczególnych faz osiadań podłoża organicznego bezpośrednio z pomiarów terenowych osiadań oraz rozpraszania nadwyżki wody w porach. Wyniki badań, analiz i obliczeń zawarłem w publikacjach **Zal. 3 - A.I.9, E.I.31, E.I.39 – E.I.49** oraz w rozdziałach w monografiach krajowych i zagranicznych **Zal. 3 - E.II.13 – E.II.25**.

Wybrana literatura:

1. Adams J.I. 1965. The engineering behaviour of Canadian Muskeg. Proc. of the 6th Inter. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Montreal, 1; 3-7.
2. Attewell, P. B., & Farmer, I. W. 1974. Ground deformations resulting from shield tunnelling in London Clay. Canadian Geotechnical Journal, 11(3), 380-395.
3. Araya A. 2011. Characterization of Unbound granular materials for pavements. PhD Thesis. Delft, Netherlands.
4. Azadegan O., Yaghoubi E., Li J. 2013. Evaluation of the Performance of Lime and Cement Treated Base Layers in Unpaved Roads. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering 18: 1593-1602.
5. Berry P.L., Poskit T.J. 1972. The consolidation of peat. Geotech., 22; 27-52.
6. Borys M. 1993. Niskie nasypy z miejscowych gruntów organicznych dla potrzeb budownictwa wodno-melioracyjnego. Rozprawa habilitacyjna. Wydawnictwo MUZ Falenty.
7. Davich P., Labuz J., Guzina B., Dresher A. 2004. Small Strain and Resilient Modulus Testing of Granular soils. A Final Report No. 2004-39; Minnesota Department of Transportation: Saint Paul, MN, USA.
8. Den Haan, E. J. 1996. A compression model for non – brittle soft clays and peat. Geotechnique.
9. Edil T.B, Dhowian A.W. 1979. Analysis of long term compression of peats. Geot. Eng. South. Asian Soc. of soil Eng., 10; 2; 159-178.
10. Garcia-Rojo R., Herrman H.J. 2005. Shakedown of unbound granular material. Granul. Matter 7, 109-118.
11. Ghatgate SH., Rakaraddi PG. 1974. Ground deformations resulting from shield tunnelling in London Clay. Canadian Geotechnical Journal, 11(3), 380-395.
12. Hartlen J., Wolski W. 1996. Embankments on organic soils. Elsevier.
13. Jardine, R. J., Symes, M. J., & Burland, J. B. 1984. The measurement of soil stiffness in the triaxial apparatus. Géotechnique, 34(3), 323-340.
14. Kriegel, H. J., & Wiesner, H. H. 1975. Problems of stress-strain conditions in subsoil: Conference. Session two. 13F, 1T, 12R. Proc. Eighth Int. Conf. on Soil Mech. Found. Engng, Moscow, 1973, V1. 3, 1973, P133–141. In International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts (Vol. 12, No. 4, p. 56). Pergamon.

15. Koda E. 1990. Wpływ drenażu pionowego na przyspieszenie konsolidacji gruntów organicznych. Rozprawa doktorska. SGGW.
16. Lechowicz Z. 1992. Ocena wzmocnienia gruntów organicznych obciążonych nasypem. Wydawnictwo SGGW.
17. Little D.N. 1995. Handbook for Stabilization of Pavement Subgrades and Base Courses with Lime. Kendal Hunt, Dubuque, Iowa.
18. Little D.N., Nazir S. 2009. Recommendation Practise for Stabilization of subgrade soils and Base materials. NCHRP document no. 144 web-only.
19. Poon C.S., Qiao X.c., Chan D. 2006. The cause and influence of self-cementing properties of fine recycled concrete aggregates on the properties of unbound sub-base. Waste Management, Vol. 26 (10), pp. 1166-1172.
20. Maksimow A. 1965. Torf I jego użytkowanie w rolnictwie. PWRiL, Warszawa.
21. Maciak F., Liwski S. 1972. Intensywność rozkładu torfu niskiego pod wpływem dodatku różnych składników organicznych i mineralnych. Roczn. Gleboz., XXIII; 1.
22. Nazarian S. et al. 1996. Testing methodology for Resilient modulus of base materials. The Center for Geotechnical and Highway Materials Research, University of Texas, el Paso, USA.
23. Sas W. 2001. Modelowanie odkształceń gruntów organicznych z uwzględnieniem zmian właściwości ośrodka. Rozprawa doktorska. SGGW Warszawa.
24. Sharp R.W., Booker JR. 1984. Shakedown of pavements under moving surface loads. Journal Transportation Engineering 110:1-14.
25. Szajda-Brinfeld E., Pływaczyk A., Skarżyński D., 2012. Zielone dachy. Zrównoważona gospodarka na terenach silnie zurbanizowanych. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław, pp. 182.
26. Szymański A. 1991. Czynniki warunkujące analizę odkształcenia gruntów organicznych obciążonych nasypem. Rozprawa hab. Wyd. SGGW.
27. Szymański A., Sas W. 2001. Deformation characteristics of organic soils. Annals of Warsaw Agr. University-SGGW. Land Reclam 32, 3-6.
28. Wang R., Zhou F., Chen D., Zheng G., Scullon T., Walubita L.F. 2010. Characterization of Rutting (permanent) development of A-2-4 and A-4 subgrade soils under the HVS loading. Journal of Performance of Constructed Facilities, 24, 4, 382-389.
29. Wolski W., Larsson R., Szymański A., Lechowicz Z., Mirecki J., Garbulewski K., Hartlen J., Bergdahl U. 1988: Two stage constructed embankments on organic soils. Swedish Geotechnical Institute, Report No.32, Linköping.
30. Werkmeister S., Dawson A., Wellner F. 2001. Permanet deformation behavior of granular materials and shakedown concept. Transport Res Record 1757:75-81.doi: 10.3141./1757-09.
31. WT-4. 2010. Wymagania Techniczne. Mieszanki niezwiązane do dróg krajowych. Załącznik Nr 3 do Zarządzenia Nr 102 generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 19 listopada 2010r. Warszawa.

Posumowanie osiągnięć naukowo – badawczych (po doktoracie).*

**Pelen opis powyższych działalności zamieściłem w Załączniku 3.*

Osiągnięty dorobek publikacyjny po doktoracie według bazy Web of Science przekłada się na indeks Hirscha (h-index) 3. Składają się na niego 32 cytowania, w tym 19 bez autocytowań (**tabela 1**). H-indeks w bazie Scopus wynosi 3, h-index w bazie Google Scholar wynosi 8 (**tabela 1**). W trakcie mojej pracy naukowej po doktoracie opublikowałem w sumie 67 artykułów oraz 25 rozdziałów w monografii (**tabela 2**). Liczba publikacji naukowych indeksowanych w bazie JCR wynosi 9. Sumaryczny Impact Factor liczony w roku wydania publikacji wynosi 14,675, 5 letni Impact Factor liczony w roku publikacji wynosi 17,176. Liczba cytowań tych publikacji wynosi 26. Liczba pozostałych publikacji indeksowanych na Web of Science i nie posiadających Impact Factora wynosi 9. Są to publikacje ze zbioru Conference Proceedings Citation Index – Science (CPCI-S) oraz Emerging Source Citation Index. Liczba cytowań tych publikacji wynosi 6 (**tabela 2**). Suma punktów uzyskanych z publikacji wynosi łącznie 698, w tym: 235 z bazy JCR, 114 z bazy CPCI-S oraz ESCI, 49 z listy B MNiSW oraz 45 z rozdziałów w monografii (**tabela 2**). Listę publikacji, w tym z podaniem liczby punktów, współczynnika wpływu (IF) oraz liczby cytowań z bazy JCR, przedstawiłem w **tabeli 3**. Listę publikacji z baz CPCI-S oraz ESCI z podaniem ilości punktów przedstawiłem w **tabeli 4**. Po doktoracie wykonałem jako współautor 14 prac badawczych firmowanych przez moją uczelnię, opracowałem też 12 kart aplikacji produktu związanych z realizacją działań statutowych w ramach jednostki Laboratorium – Centrum Wodne SGGW, co przedstawiłem w **tabeli 5**. Uczestniczyłem jako wykonawca w dwóch projektach badawczych realizowanych przez SGGW w Warszawie (**tabela 5**). Wyniki prac naukowych wygłosiłem na 17 konferencjach krajowych

i zagranicznych, w tym na 13 konferencjach w formie referatu oraz 4 w formie posteru. Byłem współautorem 10 prezentacji oraz 1 posteru prezentowanych przez współautorów na konferencjach, w których także uczestniczyłem. Brałem udział w 10 konferencjach z publikacją artykułów, oraz w 4 konferencjach i seminariach naukowych bez artykułu. Powyższe dane zamieściłem w **tabeli 5**. Brałem także udział w 2 stażach naukowych: Narodowa Akademia Nauk Białorusi oraz program Socrates w Anglii – Cranfield University Silsoe (**tabela 5**). Jestem promotorem pomocniczym dwóch przewodów doktorskich oraz byłem i jestem obecnie opiekunem naukowym czterech doktorantów (**tabela 5**). Opiekowałem się pracownikiem naukowym innej uczelni w ramach odbywanego stażu na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska naszej uczelni (**tabela 5**). W czasie pracy na SGGW w Warszawie otrzymałem 4 nagrody za osiągnięcia naukowe, w tym po doktoracie 3 nagrody JM Rektora SGGW w Warszawie oraz jedną nagrodę Ministra edukacji Narodowej przed doktoratem (**tabela 5**). Ponadto recenzowałem dwa artykuły w czasopiśmie naukowych oraz dwa artykuły konferencyjne (**tabela 5**). Brałem udział jako członek zastępczy w Akcji COST TU1404 oraz jako uczestnik Centrum Doskonałości – Reserach Centre of Geotechnical Engineering. Nr EVK1-2002-00566 (**tabela 5**).

Tabela 1. Wskaźniki oceny dorobku naukowego (po doktoracie).

		Web of Science	Scopus	Google Scholar
<i>h-index</i>		3	3	8
cytowania	z autocytowaniami	32	52	279
	bez autocytowań	19	29	brak informacji

Tabela 2. Zestawienie opublikowanych prac naukowo-badawczych (po doktoracie)

Rodzaj publikacji	Liczba publikacji	Suma punktów	Sumaryczny IF (rok publikacji)	Sumaryczny IF (5 letni)	Liczba cytowań
Publikacje naukowe w czasopiśmie znajdujących się w bazie JCR (Web of Science) oraz posiadające Impact Factor.	9	235	14,675	17,176	26
Publikacje naukowe znajdujące się w bazach CPCI-S i ESCI (Web of Science) – nieposiadające Impact Factor.	9	114	-	-	6
Publikacje w czasopiśmie międzynarodowych lub krajowych z listy B MNiSW.	49	304	-	-	-
Rozdziały w monografii	25	45			
ŁĄCZNIE	92	698	14,675	17,176	32

Tabela 3. Publikacje naukowe w czasopiśmie znajdujących się w bazie Journal Citation Reports, indeksowane na Web of Science oraz posiadające Impact Factor (po doktoracie).

L.p.	Artykuł/rok opublikowania/czasopismo	Liczba punktów	IF (rok publikacji)	IF (5 letni)	Liczba cytowań wg. Web of Science
1	Zal. 3 – A.I.1. 2017. Soil Dynamics and Earthquake Engineering.	30	2,077	2,348	2
2	Zal. 3 – A.I.2. Acta Geophysica (Springer).	20	0,709	1,009	-
3	Zal. 3 – A.I.3. 2017. Applied Sciences (MDPI).	25	1,689	1,855	-
4	Zal. 3 – A.I.4. 2017. Applied Sciences (MDPI).	25	1,689	1,855	-
5	Zal. 3 – A.I.5. 2016. Materials.	35	2,654	3,236	3
6	Zal. 3 – A.I.6. 2016. Applied Science (MDPI).	25	1,679	1,913	2
7	Zal. 3 – A.I.7. 2015. Materials.	35	2,728	3,300	15
8	Zal. 3 – A.I.8. 2015. Acta Geophysica (Springer).	20	0,945	1,061	3
9	Zal. 3 – A.I.9. 2011. Geotechnical Testing Journal.	20	0,505	0,599	1
	ŁĄCZNIE	235	14,675	17,176	26

Tabela 4. Publikacje naukowe znajdujące się w bazie Web of Science – nieposiadające Impact Factora, w tym publikacje z konferencji ze zbioru Conference Proceedings Citation Index – Science (CPCI-S) oraz w czasopiśmie z listy B MNiSW i innych czasopiśmie zagranicznych ze zbioru Emerging Source Citation Reports (ESCI) – (po doktoracie).

<i>L.p.</i>	<i>Artykuł/rok opublikowania/czasopismo</i>	<i>Liczba punktów</i>	<i>Liczba cytowań wg. Web of Science</i>
1	Zal. 3 – A.II.1. 2017. International Journal of Geomate.	15	2
2	Zal. 3 – A.II.2. 2016. International Journal of Geomate.	15	2
3	Zal. 3 – A.II.3. 2016. Proceedings of 13 Baltic Sea Geotechnical Conference. “Historical Experience and Challenges of Geotechnical Problems in Baltic Sea Region”. Lithuanian Geotechnical Society.	15	-
4	Zal. 3 – A.II.4. 2016. Proceedings of 16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2016.	15	-
5	Zal. 3 – A.II.5. 2016. Studia Geotechnica et Mechanica.	12	-
6	Zal. 3 – A.II.6. 2016. Journal of Ecological Engineering.	12	-
7	Zal. 3 – A.II.7. 2015. Studia Geotechnica et Mechanica.	12	1
8	Zal. 3 – A.II.8. 2015. Studia Geotechnica et Mechanica.	12	1
9	Zal. 3 – A.II.9. 2005. Proceedings of 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka, Japan.	6	-
	ŁĄCZNIE	114	6

Tabela 5. Pozostały dorobek naukowo – badawczy (po doktoracie).

<i>Nazwa</i>	<i>Liczba</i>
Prace badawcze zrealizowane w trakcie pracy w SGGW w Warszawie oraz firmowane przez SGGW w Warszawie.	14 prac
Karty Aplikacji Produktu będące wynikiem badań naukowych i prac rozwojowych prowadzonych na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie	12 produktów
Krajowe projekty naukowo - badawcze	2
Uczestnictwo w międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych z własną prezentacją referatu	13
Uczestnictwo w międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych z prezentacją referatu przez współautora	10
Uczestnictwo w międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych z własną prezentacją posterową	4
Uczestnictwo w międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych z prezentacją posterową współautora	1
Udział w konferencjach z opublikowanym artykułem	10
Udział w konferencji*	4
Udział w seminarium naukowym*	3
Stáže i wyjazdy krótkoterminowe	2
Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego	4
Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze promotora pomocniczego	2
Opieka stażu naukowego	1
Krajowe nagrody i dyplomy za działalność naukową.	4
Udział w konsorcjach i sieciach badawczych	2
Recenzowanie publikacji w czasopiśmie międzynarodowych i krajowych	4

* udział bez publikacji

Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski oraz współpraca międzynarodowa (po doktoracie).*

**Pełen opis powyższych działalności zamieściłem w Załączniku 3.*

Byłem promotorem 77 prac magisterskich i inżynierskich na kierunku Budownictwo, 7 prac magisterskich i inżynierskich na kierunku Inżynieria Środowiska oraz 2 prac magisterskiej i inżynierskiej na kierunku Ochrona Środowiska, Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Po doktoracie prowadziłem zajęcia dydaktyczne na kierunkach: Budownictwo, Inżynieria Środowiska, Inżynieria i Gospodarka Wodna, Ochrona Środowiska na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych. Realizowane przedmioty: Mechanika gruntów, Mechanika gruntów i skał, Budownictwo komunikacyjne, Infrastruktura komunikacyjna, Drogi lokalne i place składowe, Posadowienie budowli na gruntach antropogenicznych, Wykorzystanie gruntów antropogenicznych, Budownictwo ziemne. Aktywnie uczestniczyłem w prowadzeniu wykładów i ćwiczeń w trakcie studiów podyplomowych realizowanych przez Katedrę Geoinżynierii. W trakcie zajęć omawiałem tematykę badań drogowych, jak i tematykę związaną z wyznaczaniem parametrów niezbędnych do obliczenia osiadań, przepuszczalności, oraz konsolidacji gruntów słabonośnych. Prowadziłem też wykłady z tematyki prognozy i modelowania odkształceń gruntów słabonośnych. W ramach programu Erasmus+International Programme dla młodzieży szkolnej wygłosiłem prezentację w języku angielskim „Nature and Landscape of Poland”. Opublikowałem kilka artykułów ze studentami, w których przedstawiliśmy rezultaty wspólnych prac badawczych. Opracowałem także 3 publikacje popularno – naukowe. Uczestniczę czynnie w spotkaniach z młodzieżą ze szkół średnich oraz podstawowych przybliżając im problematykę projektowania budowli w zgodzie ze środowiskiem. Brałem udział w komitetach naukowych 5 konferencji krajowych oraz przewodniczyłem 3 sesjom w trakcie konferencji zagranicznych. Brałem aktywny udział w konferencji w Mińsku na Białorusi przedstawiając ofertę badawczą i dydaktyczną SGGW. Za działalność dydaktyczną otrzymałem 10 nagród oraz 5 dyplomów uznania JM Rektora SGGW w Warszawie. Powyższe informacje zamieściłem w **tabeli 6**.

Tabela 6. Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski oraz współpraca międzynarodowa (po doktoracie).

<i>Nazwa</i>	<i>Liczba</i>
Promotor prac magisterskich wykonanych na kierunku Budownictwo, SGGW.	23
Promotor prac inżynierskich wykonanych na kierunku Budownictwo SGGW.	54
Promotor prac magisterskich wykonanych na kierunku Inżynieria Środowiska SGGW.	3
Promotor prac inżynierskich wykonanych na kierunku Inżynieria Środowiska, SGGW.	4
Promotor pracy magisterskiej na kierunku Ochrona Środowiska, SGGW.	1
Promotor prac inżynierskich na kierunku Ochrona Środowiska, SGGW.	3
Uczestnictwo w programach europejskich oraz innych programach międzynarodowych i krajowych	1
Aktywny udział w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych	1
Udział w komitetach organizacyjnych międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych (w tym przewodniczenie sesjom – 3)	8
Uzyskane Nagrody JM Rektora Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie za osiągnięcia organizacyjne	10
Uzyskane Dyplomy Uznania Rektora Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie za osiągnięcia organizacyjne	5

Działalność organizacyjna (po doktoracie).*

**Pełen opis powyższych działalności zamieściłem w Załączniku 3.*

W kadencjach 2005 – 2008 oraz 2008 -2012 piastowałem funkcje prodziekana ds. rozwoju Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska (wcześniej Inżynierii i Kształtowania Środowiska) SGGW. Od 2012 roku pełnię funkcję Kierownika Laboratorium – Centrum Wodne WBiIS SGGW. Byłem pełnomocnikiem Dziekana Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska ds. współpracy z Gospodarką. Przez kilka kadencji zasiadałem w Senacie SGGW jako przedstawiciel nauczycieli

nieposiadających habilitacji i tytułu profesora. Byłem członkiem wielu komisji rektorskich i senackich SGGW w Warszawie. Powyższe dane zawarłem w **tabeli 7**. Jestem członkiem Międzynarodowego Stowarzyszenia Mechaniki Gruntów i Inżynierii Geotechnicznej oraz Polskiego Komitetu Geotechniki. Pełnię funkcje przewodniczącego Oddziału Stołecznego Polskiego Komitetu Geotechniki. Jestem ponadto członkiem Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa – Oddział Warszawa (koło C12 przy SGGW). Za wieloletnią pracę i osiągnięcia z nią związane otrzymałem odznaczenia państwowe i resortowe. Powyższe dane zawarłem w **tabeli 8**. Ponadto pełniąc funkcję Prodziekana ds. rozwoju Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW w Warszawie uczestniczyłem w pracach merytorycznych związanych z przygotowaniem wniosku o dofinansowanie projektu „Centrum Naukowo – Dydaktyczne Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska – „Centrum Wodne” SGGW”. Projekt ten uzyskał finansowanie z programu Infrastruktura i Środowisko w ramach XIII Osi Priorytetowej POIiŚ. Nadzorowałem i uczestniczyłem w pracach związanych z projektowaniem, budową, wyposażeniem i rozliczeniem projektu w okresie jego realizacji. Obecnie w okresie trwałości projektu monitoruje wskaźniki i rezultaty projektu zgodnie z zapisami umowy o dofinansowanie. W realizacji wymienionych zadań kontaktowałem się z instytucją wdrażającą projekt – Ośrodkiem Przetwarzania Informacji oraz NCBiR, posiadając do tego upoważnienie JM Rektora SGGW w Warszawie. Oprócz spotkań bezpośrednich w siedzibie OPI dotyczących rozliczania i monitorowania projektu, prowadzę dokumentację i sprawozdawczość dokumentów poświadczających osiąganie wskaźników i efektów wdrożenia projektu. Ponadto prowadzę spotkania z młodzieżą szkół średnich i podstawowych w ramach popularyzacji wiedzy o środowisku w powiązaniu z działaniami w budownictwie. Brałem udział w kilku programach telewizyjnych i radiowych omawiając w nich zagadnienia techniczne oraz środowiskowe związane z szeroko rozumianą problematyką powodzi, możliwościami zarządzania ryzykiem powodzi i jej zapobiegania.

Tabela 7. Pełnione funkcje w ramach zatrudnienia na SGGW (po doktoracie).

<i>Pełniona funkcja</i>	<i>W latach</i>
Prodziekan Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska w kadencji	2005-2012
Kierownik oraz p.o. kierownika Laboratorium - Centrum Wodne na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska	2012-2020 (obecnie)
Pełnomocnik Dziekana Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska ds. Współpracy z Gospodarką	2012-2016
Członek Rektorskiej Komisji Mieszkaniowej	2016-2020
Członek Senatu Akademickiego	2002-2016
Przewodniczący Rektorskiej Komisji Mieszkaniowej	2008-2016
Członek Senackiej Komisji ds. Historii i Odznaczeń	2002-2016
Członek Senackiej Komisji ds. Rozwoju Kadr Naukowych i Dydaktycznych	2002-2005
Członek Rady Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska	2002-2020 (obecnie)
Przewodniczący w Komisji ds. Rozwoju oraz w Zespole ds. Kontaktów z Praktyką	2012-2016
Członek Komisji ds. Rozwoju Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska	2005-2008
Członek Komisji Dydaktycznej przy Radzie Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska	2002-2005

Tabela 8. Osiągnięcia i członkostwa w organizacjach i stowarzyszeniach (po doktoracie).

<i>Nazwa</i>	<i>Liczba</i>
Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki lub sztuki	11
Otrzymane odznaczenia państwowe i resortowe	3
Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych	3

Działalność zawodowa.*

*Pełen opis powyższych działalności zamieściłem w Załączniku 3.

Posiadam uprawnienia do wykonywania, dozoru i kierowania pracami geologicznymi, oraz do dokumentowania ich wyników, kategorii V-1358, VI-0371, VII-1175, uprawnienia do wykonywania, dozoru i kierowania pracami geologicznymi kategorii XII-157 w zakresie kierowania w terenie wierceniami do głębokości 30 m. Jestem Bieglym Wojewody Mazowieckiego w zakresie sporządzania ocen oddziaływania na środowisko nr 0293. Posiadam Certyfikat Polskiego Komitetu Geotechniki nr 0093 w zakresie geotechniki. W ramach prowadzonej działalności gospodarczej wykonałem kilka projektów odwodnień budowlanych i boiska sportowego. Ponadto wykonałem kilkadziesiąt dokumentacji geotechnicznych, opinii i projektów geotechnicznych, dokumentacji geologiczno – inżynierskich dla różnych obiektów budowlanych (**tabela 9**).

Tabela 9. Uzyskane uprawnienia zawodowe oraz współpraca z gospodarką.

<i>Nazwa</i>	<i>Liczba</i>
Uzyskane uprawnienia i kwalifikacje zawodowe (przed doktoratem)	6
Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie (po doktoracie)	70

Wojciech Sos

Podpis habilitanta

Warszawa, 6 lipca 2018 r.