

Autoreferat

dr Maja Jolanta Bryk

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
Instytut Gleboznawstwa, Inżynierii i Kształtowania Środowiska

Lublin 2018

Spis treści

1. Imię i nazwisko	5
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej	5
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	5
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)	5
4A. Tytuł osiągnięcia naukowego	5
4B. Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe	6
4C. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania	7
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych	29
6. Podsumowanie osiągnięć naukowo-badawczych, organizacyjnych, dydaktycznych i popularyzatorskich	42

1. Imię i nazwisko

Maja Jolanta Bryk

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- **1996** – uzyskanie stopnia **magistra chemii**
na Wydziale Chemii Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie
Praca magisterska pt.: „Badania stabilności układów zdyspergowanych w obecności wybranych substancji stabilizujących” napisana w Zakładzie Chemii Fizycznej pod kierunkiem prof. dr. hab. Emila Chibowskiego
- **2001** – uzyskanie stopnia **doktora nauk rolniczych w zakresie agronomii, specjalność gleboznawstwo** na Wydziale Rolniczym Akademii Rolniczej w Lublinie
Rozprawa doktorska pt.: „Opracowanie wskaźników struktury gleby na podstawie badań morfologicznych, morfometrycznych i właściwości fizycznych gleby”
Promotor: prof. dr hab. Anna Słowińska-Jurkiewicz
Recenzenci: prof. dr hab. Krystyna Konstankiewicz, prof. dr hab. Henryk Domżał

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 01.12.1996–30.11.2001 r. – **asystent**, Instytut Gleboznawstwa i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, Akademia Rolnicza w Lublinie
- od 01.12.2001 r. – **adiunkt**, Instytut Gleboznawstwa, Inżynierii i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

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)**4A. Tytuł osiągnięcia naukowego**

„Kwantyfikacja makrostruktury do oceny stanu fizycznego gleby i jego przemian”

4B. Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

Na osiągnięcie naukowe składa się cykl jednotematycznych, oryginalnych publikacji naukowych: 5 prac opublikowanych w czasopismach o zasięgu międzynarodowym z listy JCR i 1 praca opublikowana w czasopiśmie polskim z listy „B” MNiSW. W pracach tych jestem pierwszym autorem i autorem korespondencyjnym, a moi współpracownicy sprecyzowali swój udział w badaniach w załączonych oświadczeniach.

I.B.1. **Maja Bryk**, 2012. Ocena szorstkości powierzchni agregatów glebowych za pomocą analizy obrazu. *Roczniki Gleboznawcze*, 63(2), 9–13.

MNiSW – 5 pkt

I.B.2. **Maja Bryk**, Słowińska-Jurkiewicz A., Medvedev V.V., 2012. Morphometrical structure evaluation of long-term manured Ukrainian chernozem. *International Agrophysics*, 26, 117–128.

MNiSW – 20 pkt, IF = 1,025; liczba cytowań WoS – 3 / bez autocytowań – 2

I.B.3. **Maja Bryk**, Kołodziej B., 2014. Assessment of water and air permeability of chernozem supported by image analysis. *Soil & Tillage Research*, 138, 73–84.

MNiSW – 40 pkt, IF = 2,622; liczba cytowań WoS – 5 / bez autocytowań – 1

I.B.4. **Maja Bryk**, 2016. Macrostructure of diagnostic B horizons relative to underlying BC and C horizons in Podzols, Luvisol, Cambisol, and Arenosol evaluated by image analysis. *Geoderma*, 263, 86–103.

MNiSW – 35 pkt, IF = 4,036; liczba cytowań WoS – 5 / bez autocytowań – 4

I.B.5. **Maja Bryk**, Kołodziej B., Słowińska-Jurkiewicz A., Jaroszek-Sierocińska M., 2017. Evaluation of soil structure and physical properties influenced by weather conditions during autumn-winter-spring season. *Soil & Tillage Research*, 170, 66–76.

MNiSW – 40 pkt, IF = 3,401

I.B.6. **Maja Bryk**, 2018. Resolving compactness index of pores and solid phase elements in sandy and silt loamy soils. *Geoderma*, 318, 109–122.

MNiSW – 35 pkt, IF = 4,036

Mój średni udział procentowy w wymienionych publikacjach wynosi ponad 86%.

Łączny IF powyższych publikacji wynosi **15,12**, suma punktów według MNiSW **175**, a liczba cytowań według Web of Science – **13** (bez autocytowań – 7).

W autoreferacie publikacje, których jestem współautorem, cytowane są zgodnie z numeracją nadaną im w załączniku nr 5: „Wykaz opublikowanych prac naukowych lub twórczych prac zawodowych oraz informacja o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki”. Wykaz pozostałej cytowanej literatury uzupełniającej zamieszczono na końcu rozdziału 4C.

4C. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

1. Wstęp

Strukturę gleby definiuje się jako jej wewnętrzną budowę – fizyczną organizację stałych cząstek gleby i wolnych przestrzeni – porów glebowych, włączając w to zarówno cząstki elementarne, budujące większe zespoły – agregaty, jak i te agregaty. Gleba, tak jak każda substancja wielofazowa i polidispersyjna, zawsze posiada strukturę, różny może być jednak typ tej cechy. Struktura gleby jest jednym z podstawowych parametrów decydujących o stanie fizycznym gleby. Determinuje ona stosunki wodno-powietrzne, wartości parametrów hydrofizycznych, zarówno statycznych, jak i dynamicznych, możliwość retencjonowania wody, dostępność wody dla roślin, właściwości termiczne gleby, a także jej właściwości mechaniczne. Kształtując stan fizyczny gleby, struktura bardzo mocno oddziałuje na charakter i tempo procesów przemian materii organicznej, dostępność składników pokarmowych dla roślin, czy efektywność nawożenia (Domżał i Słowińska-Jurkiewicz 1987; Lipiec i Dębicki 1989; Domżał i Słowińska-Jurkiewicz 1996; Rząsa i Owczarzak 2004). Z drugiej strony, w obserwowanym, aktualnym stanie struktury gleby, przejawiają się efekty oddziaływania na glebę naturalnych i antropogenicznych czynników zewnętrznych. Ze względu na ogromne znaczenie struktury dla właściwości i funkcjonowania gleby, znajduje się ona ciągle w obszarze zainteresowań gleboznawców.

Struktura gleby jest cechą, którą można ująć w sposób opisowy lub ilościowy. Opis i interpretacja, czyli morfografia i morfologia, są ważnymi wstępnymi etapami analizy struktury gleby. Pozwalają one zorientować się w charakterze struktury, znaleźć czynniki odpowiedzialne za jej stan, i wreszcie – dobrać do opisu struktury najbardziej odpowiednie parametry ilościowe – morfometryczne. W ujęciu ilościowym mierzy się często parametry gleby, które w sposób pośredni wiążą się z jej strukturą. Wyznacza się np. gęstość gleby, przewodnictwo wodne, przepuszczalność powietrzną, porowatość stosując porozymetrię rtęciową lub korzystając z krzywej desorpcji wody; wydziela się z gleby frakcje agregatów o zróżnicowanej wielkości i sprawdza ich trwałość przy przesiewaniu na sucho i na mokro. Dopiero jednak techniki obrazowania, wykorzystujące zdjęcia utrwalonych żywicą preparatów: cienkich szlifów lub nieprzezroczystych zglądów glebowych, albo mikrotomografia komputerowa, pozwalają na bezpośrednie ilościowe ujęcie struktury gleby, czyli na jej kwantyfikację. Kwantyfika-

cja struktury gleby jest niezbędnym elementem studiów gleboznawczych, ponieważ wprowadza walor obiektywizmu do badań struktury – umożliwia liczbową weryfikację hipotez badawczych, pozwala rozpoznać podobieństwa i różnice między strukturami, a przede wszystkim poszukiwać związków struktury z innymi parametrami stanu fizycznego gleby.

Analiza literatury wskazuje, że przeprowadzono wiele badań z wykorzystaniem ilościowych wskaźników struktury gleby. Mimo tego zauważyłam, że ciągle istnieje potrzeba uporządkowania, udoskonalenia i weryfikacji przyjętych ogólnie parametrów oraz poszukiwania relacji wskaźników morfometrycznych z innymi właściwościami gleby. Swoje badania poświęciłam makrostrukturze gleby, to znaczy strukturze, której cechy można wyodrębnić nieuzbrojonym okiem lub przy niewielkim powiększeniu, również oceniając stan gleby w warunkach polowych. Dlatego wyznaczyłam następujące cele szczegółowe badań:

- opracowanie zestawu wskaźników do kompleksowej kwantyfikacji makrostruktury gleby;
- stworzenie algorytmów przetwarzania obrazów makrostruktury, dostosowanych do wyznaczania liczbowych wskaźników makrostruktury gleby;
- opracowanie nowych lub udoskonalenie istniejących liczbowych wskaźników kształtu;
- znalezienie ilościowych relacji między makrostrukturą gleby a jej właściwościami fizycznymi i chemicznymi oraz parametrami środowiska zewnętrznego.

Monotematyczny cykl 6 publikacji naukowych (w tym 3 samodzielnych) zatytułowany „Kwantyfikacja makrostruktury do oceny stanu fizycznego gleby i jego przemian” zawiera wyniki prowadzonych przeze mnie badań dotyczących różnych sposobów kwantyfikacji makrostruktury gleby i odniesienia parametrów morfometrycznych do innych cech stanu fizycznego gleby, będącego rezultatem działania czynników zewnętrznych lub funkcją właściwości fizycznych i chemicznych materiału glebowego. Niniejszy autoreferat przedstawia moje osiągnięcia naukowe zawarte w publikacjach I.B.1–I.B.6.

Wyniki badań zawarte w publikacjach I.B.1, I.B.3, I.B.4 i I.B.6, w części dotyczącej struktury gleby, są efektem realizacji projektu badawczego finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki, pt. „Zastosowanie wskaźników morfometrycznych i parametrów fizykochemicznych do oceny struktury wybranych gleb autogenicznych wytworzonych ze skał luźnych” (N N310 447938), którego byłam kierownikiem.

2. Materiał i metody

Badaniami objęto gleby reprezentujące różne typy genetyczne oraz wytworzone na różnych skałach macierzystych. Były to gleby pochodzące z ekosystemów leśnych, gleba użytkowana rolniczo, gleba ogrodowa, a także modele agregatowych struktur glebowych. Dzięki temu możliwe było rozpatrzenie szerokiego spektrum parametrów opisujących makrostrukturę gleby w nawiązaniu do różnorodnych czynników zewnętrznych.

W badaniach, do oceny makrostruktury gleby, zastosowałam komputerową analizę obrazu na podstawie zdjęć utrwalonych żywicą nieprzezroczystych szlifów glebowych o wymia-

rach 8×9×1 cm, uzyskanych z próbek gleby o nienaruszonej budowie. Wykorzystywane zglądy glebowe miały rozmiary odpowiednio duże do oceny makrostruktury gleby i do uchwycenia jej heterogeniczności. Sposób przygotowywania zglądów opisano w pracach **I.B.3** i **I.B.4** oraz wcześniej (II.D4.5). W każdym przypadku wyszlifowane powierzchnie zglądów skanowano, uzyskując dwuwymiarowe obrazy makrostruktury. Po przetworzeniu, zgodnie z metodą opisaną szczegółowo w cyklu publikacji **I.B.1–I.B.6**, w programie do analizy obrazu Aphelion (ADCIS SA, AAI Inc. 2007, 2010), uzyskiwano binarne, czarno-białe, obrazy makrostruktury z wydzielonymi obiektami podlegającymi dalszym pomiarom: przekrojami porów i przekrojami elementów fazy stałej. Niektóre specyficzne założenia metodyczne odnoszące się do analizy makrostruktury zostaną wyjaśnione w kolejnych częściach autoreferatu, natomiast opis metod wykorzystanych do badania fizycznych i chemicznych właściwości gleby zawarty jest w cyklu publikacji I.B.1–I.B.6. Przy podawaniu wyników analiz statystycznych, poziomy istotności oznaczono: * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ i *** $P < 0,001$. Gleby sklasyfikowano zgodnie z Systematyką gleb Polski (Komisja Genezy, Klasyfikacji i Kartografii Gleb PTG 2011), a uziarnienie określono za Polskim Towarzystwem Gleboznawczym (2009).

3. Kwantyfikacja makrostruktury do oceny stanu fizycznego gleby i jego przemian

3.1. Bazowe wskaźniki do kompleksowej kwantyfikacji makrostruktury gleby

Bezpośrednie pomiary ilościowych parametrów makrostruktury gleby prowadziłam wykorzystując dwuwymiarowe obrazy struktury gleby. Pomiarom podlegały obrazy czarno-białe, a w takim ujęciu gleba traktowana była jako dwufazowy ośrodek składający się z fazy stałej i wolnych przestrzeni. Biorąc pod uwagę fakt, że w wybranej w moich badaniach metodzie przetwarza się obrazy dwuwymiarowe, na podstawie których ocenia się właściwości układu trójwymiarowego, naturalne stało się wykorzystanie zasad morfologii matematycznej i stereologii. Zastosowanie praw stereologii (Russ i Dehoff 2000; Weibel 1980) przy pomiarach parametrów porów glebowych było postulowane od dawna (np. Bodziony et al. 1993; Horgan 1998; Ringrose-Voase i Bullock 1984). Mimo tego we współczesnych badaniach makrostruktury gleby z wykorzystaniem analizy obrazu, użycie parametrów wywodzących się z tych dziedzin wiedzy jest nadal rzadkie. Analizując literaturę światową stwierdziłam ponadto, że brak jest ujednoczonego zestawu parametrów do ilościowego opisu cech makrostruktury gleby. Na binarnych obrazach struktury faza stała i wolne przestrzenie są komplementarne. Z technicznego punktu widzenia pomiar parametrów dla każdej z faz wykonuje się tak samo. Mimo to brak jest całościowych badań makrostruktury uwzględniających jednocześnie elementy fazy stałej (w tym agregaty) i pory glebowe. Dlatego podjęłam opracowanie zestawu parametrów morfometrycznych, w jednakowy sposób kwantyfikujących cechy przekrojów porów i przekrojów elementów fazy stałej i w kompleksowy sposób opisujących makrostruktury gleby. Wskaźniki te zostały wybrane przede wszystkim spośród parametrów stereologicznych w przestrzeni dwuwymiarowej.

Do podstawowych wskaźników zaliczyłam:

- $A_{AP} = (\sum A_{Pi})/A$ – powierzchnia względna przekrojów porów (makroporowatość, $d^2 \cdot d^{-2}$);

- $A_{AS} = (\Sigma A_{Si})/A$ – powierzchnia względna przekrojów elementów fazy stałej ($d^2 \cdot d^{-2}$);
- $L_A = 0,5 \cdot (\Sigma L_{Pi} + \Sigma L_{Si})/A_R$ – długość względna linii granicznej między przekrojami porów i przekrojami elementów fazy stałej ($d \cdot d^{-2}$);
- $N_{AP} = N_P/A_R$ – liczebność względna przekrojów porów (liczebność przekrojów porów w odniesieniu do pola przekroju próbki, d^{-2});
- $N_{AS} = N_S/A_R$ – liczebność względna przekrojów elementów fazy stałej (liczebność przekrojów elementów fazy stałej w odniesieniu do pola przekroju próbki, d^{-2});
- $A_{NP} = (\Sigma A_{Pi})/N_P$ – średnia powierzchnia przekroju poru (d^2);
- $A_{NS} = (\Sigma A_{Si})/N_S$ – średnia powierzchnia przekroju elementu fazy stałej (d^2);

gdzie: d – jednostka długości; A_{Pi} , A_{Si} – powierzchnia przekroju poru lub elementu fazy stałej, d^2 ; A – powierzchnia obrazu, d^2 ; L_{Pi} , L_{Si} – obwód przekroju poru lub elementu fazy stałej, d ; A_R – powierzchnia ramki ochronnej, d^2 ; N_P , N_S – liczebność przekrojów porów lub elementów fazy stałej.

Dodatkowo wykorzystałam parametr zaproponowany przez Ringrose-Voase'a (1990):

- $\lambda_P = \pi \cdot (A_{AP}/L_A)$ – średni rozmiar przekroju poru (droga swobodna przez obszar zajmowany przez przekroje porów, d);
- $\lambda_S = \pi \cdot (A_{AS}/L_A)$ – średni rozmiar przekroju elementu fazy stałej (droga swobodna przez obszar zajmowany przez przekroje fazy stałej, d).

Pola przekroju porów i elementów fazy stałej, A_{Pi} i A_{Si} , zmierzono w oparciu o całą powierzchnię obrazów binarnych. Liczebność (N_P , N_S), obwody (L_{Pi} i L_{Si}) oraz wykorzystane w pracy **I.B.4** średnice Fereta, wyznaczone jako długości boków minimalnego prostokąta ograniczającego obiekt (D_{maxPi} i D_{maxSi} oraz prostopadłe do nich D_{minPi} i D_{minSi} , d), określano natomiast dla przekrojów o środkach ciężkości zawartych w ramce ochronnej (Wojnar et al. 2002). W moich badaniach ramka ochronna ograniczała centralnie usytuowany, prostokątny obszar, pokrywający około 80–90% powierzchni obrazu binarnego. Dzięki ramce ochronnej obiekty przecinające krawędzie lub narożniki obrazów binarnych były zliczane tylko raz, zamiast, odpowiednio, dwu- lub czterokrotnie. Należy podkreślić, że w metodykach analizowanych przeze mnie prac z zakresu badań makrostruktury gleby przy użyciu analizy obrazu nie znalazłam do tej pory wzmianki o stosowaniu ramki ochronnej. Uważam, że użycie ramki ochronnej jest konieczne. Procedura wykorzystania ramki ochronnej zapewnia bowiem uzyskanie pomiarów liczebności nieobciążonych błędem systematycznym przy analizie serii obrazów struktury reprezentujących badany punkt pomiarowy, np. warstwę gleby, poziom genetyczny itp.

Bardzo przydatne do oceny wpływu czynników zewnętrznych na stan fizyczny gleby okazały się również rozkłady wielkości przekrojów porów i elementów fazy stałej. Średnice ekwiwalentne obliczano na podstawie ogólnego wzoru $D_E = 2 \cdot (A_i/\pi)^{0,5}$ (d), odnosząc pole przekroju obiektu do pola przekroju koła. Dla wybranych zakresów średnic ekwiwalentnych można było następnie wyznaczyć krzywe różniczkowe lub całkowite względem liczebności lub pola przekroju.

Wybrane przeze mnie parametry makrostruktury mają wiele zalet. Należą one do kanonu parametrów stereologicznych i jako takie mają mocną podbudowę teoretyczną. Ponadto można je obliczyć na podstawie zaledwie kilku zmierzonych cech przekrojów porów lub elementów fazy stałej: pola, obwodu i liczebności, a do zastosowania ramki ochronnej wymagane jest ponadto wyznaczenie współrzędnych środków ciężkości przekrojów. Powierzchnia względna przekrojów danej fazy (A_{AP} , A_{AS}) jest tożsama z objętością względną tej fazy (V_{VP} , V_{VS}), co pozwala m.in. na bezpośrednie odniesienie obliczanej na podstawie analizy obrazu makroporowatości do objętości porów wyznaczonej metodami laboratoryjnymi, np. z krzywej desorpcji wody. Parametry względne – o charakterze integralnym (globalnym: A_{AP} , A_{AS} , L_A , N_{AP} , N_{AS}) – charakteryzują liczbowo wybraną fazę w odniesieniu do jednostki powierzchni, dzięki czemu można porównywać wyniki pomiarów wykonywanych na obrazach o różnych rozmiarach. Parametry lokalne (statystyczne: A_{NP} , A_{NS}), podają uśrednioną charakterystykę obiektów danej fazy w próbce. Wszystkie parametry w syntetyczny sposób opisują ilościowo makrostrukturę gleby widoczną na dwuwymiarowych obrazach i dzięki temu umożliwiają poszukiwanie relacji z innymi mierzalnymi parametrami stanu fizycznego gleby oraz jej właściwościami chemicznymi i czynnikami zewnętrznymi.

Należy podkreślić, że celowo wybrałam parametry stereologiczne dla przestrzeni dwuwymiarowej i nie były one, poza makroporowatością, odnoszone do cech ośrodka trójwymiarowego. Relacje pozostałych parametrów stereologicznych wyznaczonych w przestrzeni dwuwymiarowej z odpowiadającymi im parametrami dla przestrzeni trójwymiarowej są prawdziwe, jeżeli są spełnione założenia co do izotropowości badanej struktury; konieczna może też być znajomość kształtu i rozkładu wielkości cząstek w trzech wymiarach. Ze względu, że gleba prawie zawsze wykazuje anizotropowość, obliczenie większości stereologicznych parametrów w trzech wymiarach na podstawie dwuwymiarowych obrazów makrostruktury gleby jest praktycznie niemożliwe bez licznych założeń upraszczających.

Przygotowany przeze mnie zestaw bazowych wskaźników do kwantyfikacji makrostruktury gleby został następnie wykorzystany w badaniach zaprezentowanych w pracach **I.B.2** i **I.B.4–I.B.6**. Omawiane wskaźniki posłużyły najpierw do oceny makrostruktury ukraińskiego czarnoziemiu w dwóch wariantach uprawy: (I) przez 78 lat nawożonego obornikiem, (II) bez nawożenia organicznego (**I.B.2**). Opisywane badania prowadzono we współpracy z Narodowym Centrum Naukowym „Instytut Gleboznawstwa i Agrochemii im. O.N. Sokolovsky’ego” w Charkowie na Ukrainie. Celem badań była weryfikacja hipotezy o występowaniu w czarnoziemach ukraińskich dobrze wykształconej struktury agregatowej z wykorzystaniem analizy obrazu. Dla obu wariantów uprawy charakteryzowano makrostrukturę w 5 warstwach gleby stosując wskaźniki A_{AP} , A_{AS} , L_A , N_{AP} , N_{AS} , λ_P i λ_S , zarówno dla fazy stałej, jak i dla porów glebowych. Wyznaczono również całkowite rozkłady przekrojów porów i elementów fazy stałej według ich średnicy ekwiwalentnej w 734 klasach rozmiarów w relacji do powierzchni przekrojów porów odniesionej do A_{AP} i powierzchni przekrojów elementów fazy stałej odniesionej do A_{AS} . Znormalizowane w ten sposób rozkłady można było porównać metodami statystycznymi. Dla obu wariantów uprawy największe różnice stwierdzo-

no między wartościami parametrów morfometrycznych elementów stałej fazy gleby. Różnice w parametrach przekrojów porów były znacznie mniejsze. Gleba, która była nawożona obornikiem, miała ponad 5-krotnie większą liczbę agregatów glebowych, a ich średnie wielkości wyrażone przez A_{NS} były prawie 3-krotnie niższe niż w glebie nienawożonej organicznie. Gleba nawożona obornikiem charakteryzowała się ponadto większą makroporowatością (A_{AP}), większą względną i bezwzględną liczbą przekrojów elementów fazy stałej (N_{AS} , N_S) oraz większą długością względną granicy między przekrojami porów i elementów fazy stałej (L_A). Te parametry makrostruktury interpretowane łącznie wykazały mniejsze zagęszczenie gleby nawożonej obornikiem. Wartości parametrów morfometrycznych oraz rozkłady wielkości przekrojów porów i elementów fazy stałej potwierdziły widoczne na obrazach makrostruktury różnice między warstwami i między wariantami użytkowania badanego czarnoziemiu. Zastosowane wskaźniki makrostruktury pozwoliły stwierdzić, że wierzchnie warstwy czarnoziemiu rzeczywiście mają strukturę agregatową, jednak niezbędnym warunkiem do jej wytworzenia i zachowania w długim czasie jest regularne nawożenie organiczne.

W latach 90-tych XX. wieku morfologiczne badania Cambisoli i Podzoli w odniesieniu do mikrostruktury gleby prowadzili Pereira i FitzPatrick (1995) oraz Phillips i FitzPatrick (1999). Nie znalazłam natomiast dotychczas żadnych prac poświęconych makrostrukturze poziomów diagnostycznych tych gleb. Dlatego dokonałam oceny i porównania makrostruktury diagnostycznych poziomów wzbogacania, B, w odniesieniu do poziomów BC i skały macierzystej, C, przy użyciu opracowanego przeze mnie zestawu wskaźników morfometrycznych (**I.B.4**). Różnice między tymi poziomami można oczywiście znaleźć dzięki analizie chemicznej, mineralogicznej, analizie uziarnienia lub mikrostruktury. Ciekawe było natomiast to, czy uwidocznia się one również w makrostrukturze. Dlatego szukałam odpowiedzi na pytania: (a) czy makrostruktura wybranych poziomów diagnostycznych różni się od makrostruktury poziomów niżej położonych; (b) jakie zmiany zachodzą w makrostrukturze gleby w obrębie poziomów wzbogacania pod wpływem charakterystycznych dla omawianych gleb czynników glebotwórczych; (c) czy makrostruktura poziomów wzbogacania iluwiального (*spodic* i *argic*) odróżnia się od makrostruktury poziomów, w których dominuje wzbogacanie *in situ* (*cambic* i *sideric*)? Próbki do badań pobrałam z diagnostycznych poziomów wzbogacania 5 gleb: bielicy typowej i gleby bielcowej typowej – z poziomu *spodic*; gleby rdzawej typowej – z poziomu *sideric*; gleby płowej typowej – z poziomu *argic*; oraz gleby brunatnej eutroficznej wylugowanej – z poziomu *cambic*. Na podstawie obrazów makrostruktury wyznaczyłam dla badanych poziomów wskaźniki A_{AP} , A_{AS} , L_A , N_{AP} , N_{AS} , A_{NP} i A_{NS} , zarówno dla elementów fazy stałej, jak i dla porów glebowych. Dla mierzonych parametrów określiłam także współczynniki zmienności. Wskaźniki morfometryczne wykazały, że makrostruktura diagnostycznych poziomów wzbogacania odróżniała się od makrostruktury poziomów BC i C w różny sposób, zależny od genezy gleby. Średnia powierzchnia przekroju poru A_{NP} , długość względna przekrojów porów L_A , a zwłaszcza liczebność względna przekrojów elementów fazy stałej N_{AS} , były na ogół wyższe w poziomach B niż w C. Średnia powierzchnia przekrojów elementów fazy stałej A_{NS} była natomiast z reguły niższa w poziomach B w porównaniu z poziomami

BC i C. Parametry te interpretowane łącznie wskazywały na mniejsze zagęszczenie gleby w poziomach B w porównaniu ze skałą macierzystą, pokazując w szczególności wyższy stopień ukształtowania struktury agregatowej, tworzonej i stabilizowanej przy udziale substancji zakumulowanych w poziomach B. Nie zaobserwowano natomiast różnic w wartościach parametrów morfometrycznych między poziomami B_{hs}, B_s i B_t (akumulacja iluwialna) oraz B_{w0} i B_w (akumulacja *in situ*). W świetle uzyskanych wartości wskaźników morfometrycznych, poziomy BC okazały się znacznie bardziej podobne do materiału macierzystego niż poziomy B.

Opisany powyżej unikalny zestaw parametrów morfometrycznych posłużył następnie do oceny stanu i zmian makrostruktury gleby pod wpływem czynników pogodowych (**IB.5**). Analiza literatury wykazała, że wcześniej były już prowadzone badania wpływu warunków pogodowych na właściwości fizyczne gleby, zarówno w eksperymentach polowych, jak i laboratoryjnych (Asare et al. 1997; Boizard et al. 2013; Croft et al. 2013; Fan et al. 2008; Schwen et al. 2011ab; Siczek et al. 2015; Vermang et al. 2009; Wang et al. 2012; II.D1.8), nie znaleziono jednak opracowań poświęconych zagadnieniu makrostruktury mierzonej bezpośrednio, np. na podstawie szlifów glebowych. Poza tym, jeżeli już oceniano strukturę gleby, to odrębnie badano fazę stałą (np. Fan et al. 2008), a odrębnie pory glebowe (np. Boizard et al. 2013). Z tego względu objęłam badaniami wierzchnią warstwę gleby płowej typowej użytkowanej ogrodniczo. Omawiana gleba w okresie od października 2009 do czerwca 2010 była pozbawiona okrywy roślinnej i mulczu oraz nie była poddawana zabiegom uprawowym. Takie założenia eksperymentu pozwoliły zweryfikować hipotezę, że makrostruktura wierzchniej warstwy nieuprawianej gleby ulegnie zmianie pod wpływem temperatury i opadów atmosferycznych, gdy gleba jest pozbawiona jakiegokolwiek okrywy. Na podstawie obrazów makrostruktury obliczyłam wskaźniki A_{AP} , A_{AS} , L_A , N_{AP} , N_{AS} , A_{NP} i A_{NS} , zarówno dla elementów fazy stałej, jak i dla porów glebowych, w 4 terminach pomiarowych. Wyznaczyłam również rozkłady przekrojów porów i elementów fazy stałej według ich średnicy ekwiwalentnej obliczanej na 2 sposoby: odnosząc pole przekroju do pola koła oraz zgodnie z procedurą Vogela (1997). Zakresy średnic dobrano do średnic porów związanych z charakterystycznymi punktami zależności „potencjał wody glebowej – wilgotność”, dzięki temu można było następnie zestawić wyniki morfometrycznej analizy makrostruktury z pomiarami laboratoryjnymi innych cech gleby. Analiza statystyczna liczbowych wskaźników makrostruktury wykazała, że makrostruktura omawianej gleby uległa zmianie. Ponadto stwierdzono, że do największej zmiany makrostruktury doszło między 2 a 3 terminem badań, po tym, jak gleba całkowicie rozmarzła i podlegała następnie silnym i długotrwałym opadom deszczu. Wskazywały na to: spadek makroporowatości (A_{AP}) i wzrost powierzchni względnej przekrojów elementów fazy stałej (A_{AS}), a ponadto wzrost liczebności względnej przekrojów porów (N_{AP}) z jednoczesnym spadkiem średniej powierzchni przekroju poru (A_{NP}). Wykonane rozkłady wielkości przekrojów porów i agregatów również poddano analizie statystycznej, co pozwoliło stwierdzić, że nastąpiła reorganizacja układu porów i fazy stałej, której efektem był spadek udziału największych porów na rzecz porów mniejszych.

Wskaźniki makrostruktury pozwoliły także szczegółowo scharakteryzować przekroje porów i elementów fazy stałej o różnych wartościach wskaźnika zwartości (**I.B.6**). Celem pracy była: (1) analiza cech wskaźnika zwartości, aby zwrócić uwagę na jego specyficzne właściwości wynikające z pomiaru na bazie cyfrowych obrazów struktury oraz (2) przetestowanie jego użyteczności do oceny makrostruktury gleby i jej właściwości wodno-powietrznych. Próbkę do badań pobrałam z poziomów genetycznych A i C 4 gleb: gleby bielcowej typowej; gleby rdzawej typowej; czarnoziemiu typowego; gleby brunatnej eutroficznej wylugowanej, o uziarnieniu piasku lub pyłu. Dla przekrojów porów i elementów fazy stałej, w 7 klasach k wskaźnika zwartości, wyznaczyłam parametry morfometryczne: A_{APk} , A_{ASK} , N_{APk} , N_{ASK} , AN_{Pk} , AN_{Sk} . Opracowałam ponadto rozkłady elementów strukturalnych w klasach wskaźnika zwartości według ich udziału powierzchniowego i liczbowego. Stwierdziłam, że rozkłady w odniesieniu do powierzchni przebiegały według malejącej funkcji wykładniczej, a w odniesieniu do liczebności – miały charakter rozkładu normalnego. Dzięki swej czytelności rozkłady względem liczebności okazały się użytecznym narzędziem do diagnostyki stanu i zmian makrostruktury. Kwantyfikacja cech elementów strukturalnych pozwoliła mi wyznaczyć matematyczną relację między liczebnością względną i powierzchnią względną przekrojów elementów strukturalnych w klasach wskaźnika zwartości, $\lg A_{APk} - \lg N_{APk}$ oraz $\lg A_{ASK} - \lg N_{ASK}$, i pokazać przy tym zmienność AN_{Pk} i AN_{Sk} . Określiłam ponadto zależność matematyczną między wskaźnikiem zwartości a powierzchnią przekroju dla porów, $\lg CMP_{Pi} - \lg A_{Pi}$, i elementów fazy stałej, $\lg CMP_{Si} - \lg A_{Si}$. Uzyskane wyniki umożliwiły mi dokładną analizę cech wskaźnika zwartości, co zostanie szczegółowo opisane w dalszej części autoreferatu, dotyczącej wskaźników kształtu.

3.2. Wskaźniki kształtu elementów strukturalnych gleby

Strukturę gleby definiuje się przez rozmiar, kształt oraz układ elementów strukturalnych. Znajomość ich kształtu i ukierunkowania ułatwia ocenę zmian struktury gleby pod wpływem czynników zewnętrznych. Te cechy geometryczne, oprócz właściwości fizycznych wynikających ze stanu struktury, jak np. gęstość, porowatość, przepuszczalność wodna i powietrzna, powinny być zatem uwzględniane w szczegółowych badaniach struktury gleby.

Parametry opisujące kształt porów lub elementów fazy stałej, w tym agregatów, nie posiadają swoich bezpośrednich fizycznych odpowiedników, niemniej jednak mają bardzo duże znaczenie diagnostyczne i wspomagają ilościową charakterystykę stanu struktury gleby (Skvortsova i Utkaeva 2008).

Właściwości geometryczne agregatów glebowych: ich rozmiar, kształt, charakter powierzchni, mają duże znaczenie w czasie przygotowywania warstwy gleby do wysiewu nasion. Charakter powierzchni agregatów determinuje sposób ułożenia agregatów glebowych. Agregaty o gładkich powierzchniach upakowują się gęściej, natomiast te o szorstkich – zaczepiają o siebie, zostawiając znacznie większe wolne przestrzenie międzyagregatowe, warunkując w ten sposób porowatość różnicową gleby, a zatem jej stosunki wodno-powietrzne (Rzasa i Owczarzak 1992; 2004). Ponadto warstwa gleby przygotowanej do wysiewu osiada

szybciej, gdy agregaty mogą się swobodniej względem siebie przesuwać, co ma miejsce w glebach tworzących agregaty o gładkich powierzchniach. Przewodnictwo wodne gleb o strukturze agregatowej również zależy od charakteru powierzchni agregatów oraz sposobu ich ułożenia (Carminati et al. 2007). Mimo znacznego wpływu szorstkości powierzchni agregatów na układ gleb o strukturze agregatowej, a także ewolucję stanu struktury gleby w czasie, tylko nieliczni autorzy podejmowali próbę oszacowania tej cechy. Holden (1993) wykorzystał w tym celu wymiar fraktalny. Dürr i Aubertot (2000) szorstkość powierzchni pojedynczych agregatów, wyselekcjonowanych z gleby płowej, oceniali wizualnie w pięciostopniowej skali. Brak innych publikacji z tego zakresu skłonił mnie do opracowania prostego wskaźnika szorstkości powierzchni agregatów z wykorzystaniem analizy obrazu (**I.B.1**). Badaniami objęłam 4 gleby: (1) glebę płową typową o uziarnieniu pyłu zwykłego; (2) rędzinę właściwą typową i (3) rędzinę czarnoziemną typową o uziarnieniu gliny ilastej; (4) czarną ziemię murszastą o uziarnieniu łu pylastego. Z warstwy ornej gleb wydzieliłam na sitach agregaty glebowe o rozmiarach 7–10 mm i przygotowałam na ich podstawie utrwalone żywicą szlify glebowe. Powierzchnię zgładów zeskanowałam uzyskując obrazy w 256 odcieniach szarości. Opracowałam dedykowany dla zrealizowania celu badań algorytm przetwarzania obrazów, który zawierał następujące kroki: (a) progowanie (segmentacja) obrazów w odcieniach szarości → obrazy binarne – czarno-białe; (b) „HoleFill” – wypełnianie porów wewnątrzagregatowych w celu uniknięcia błędów pomiarów powierzchni i obwodów przekrojów porów; (c) selekcja dyskretnych agregatów. Aby ocenić kształt agregatów, wyznaczyłam dla nich także wskaźnik wydłużenia, $ELG = (a-b)/(a+b)$, gdzie: a i b są odpowiednio dłuższą i krótszą osią elipsy ograniczającej obiekt (II.D1.11, 14), oraz wariancję wskaźnika wydłużenia, $V(ELG)$. Analiza statystyczna pokazała, że zróżnicowanie wydłużenia było podobne dla wszystkich badanych gleb. Agregaty uzyskane z gleby płowej i czarnej ziemi miały wyższy wskaźnik wydłużenia, niż agregaty uzyskane z rędzin. Przekroje agregatów z wszystkich gleb zaklasyfikowano jako okrągłe lub owalne. Wyznaczyłam następnie obwód P_A (mm) oraz obwód najmniejszej elipsy otaczającej przekrój agregatu P_E (mm) i na ich podstawie obliczyłam nieopisany dotychczas w literaturze wskaźnik szorstkości P_A/P_E , wariancję wskaźnika szorstkości $V(P_A/P_E)$ oraz wykreśliłam całkowite histogramy wskaźnika szorstkości. Jako figurę odniesienia wybrałam elipsę, ponieważ jest ona dobrym przybliżeniem kształtu agregatu. Wskaźnik szorstkości był bezwymiarowy, osiągał wartość 1 dla przekrojów o gładkich i mało skomplikowanych obrysach i wzrastał stopniowo wraz ze zwiększaniem się złożoności obrysu badanego przekroju, a zatem ze zwiększaniem się szorstkości powierzchni agregatu. Tak skwantyfikowaną szorstkość powierzchni agregatów 4 gleb porównałam metodami statystycznymi i oceniłam jej związek ze składem granulometrycznym i zawartością węgla organicznego. Badania wykazały, że przekroje agregatów wypreparowanych z gleby płowej miały gładzsze krawędzie, niż przekroje agregatów pozyskanych z rędzin i czarnej ziemi. Agregaty gleby płowej wykazały ponadto najmniejsze zróżnicowanie wskaźnika szorstkości, czego wyrazem był stromy przebieg krzywej całkowitej rozkładu tego wskaźnika. Zestawienie pomiarów laboratoryjnych z wynikami analizy morfologicznej i morfometrycznej pozwoliło mi

wykazać, że szorstkość powierzchni agregatów wzrastała wraz z zawartością podfrakcji piasku 0,1–2 mm, frakcji ilu <0,002 mm i substancji organicznej. Niska zawartość tych składników w glebie płowej odpowiadała za silną podatność agregatów na rozkruszanie i rozpad mechaniczny, dlatego agregaty uzyskiwały wygładzone powierzchnie.

Wstępna klasyfikacja kształtu przy użyciu wskaźnika wydłużenia znalazła w moich badaniach zastosowanie do wybrania przekrojów porów i elementów fazy stałej do analizy ukierunkowania (**I.B.2**, **I.B.4**). W omówionych wcześniej badaniach dotyczących struktury czarnoziemów ukraińskich (**I.B.2**), analizowałam kształt i ukierunkowanie dla przekrojów o minimalnym rozmiarze 100 pix², co odpowiadało 0,179 mm². Stwierdziłam, że przekroje okrągłe stanowiły 4,8–11,8% dla fazy stałej oraz 3,0–11,4% dla porów. Dla pozostałych przekrojów porów i elementów fazy stałej, o eliptycznym i wydłużonym kształcie, można było następnie sporządzić rozkłady ukierunkowania. Analiza statystyczna wykazała w większości przypadków równomierny rozkład przekrojów według ukierunkowania ich głównej osi. Przekroje porów w wierzchniej warstwie czarnoziemiu nienawożonego organicznie były ułożone poziomo, co wskazywało na mechaniczne ugniecenie tej warstwy. W analogicznej warstwie czarnoziemiu nawożonego obornikiem ułożenie porów było natomiast izotropowe. Następnie analizowałam ukierunkowanie porów w poziomach wzbogacania opisanych wcześniej (**I.B.4**) 5 gleb: bielicy typowej, glebie bielicowej typowej, glebie rdzawej typowej, glebie płowej typowej i glebie brunatnej eutroficznej wylugowanej. Wskaźnik wydłużenia obliczyłam dla przekrojów o minimalnym rozmiarze 100 pix², co odpowiadało 0,045 mm², ze wzoru: $ELGP = (D_{maxPi} - D_{minPi}) / (D_{maxPi} + D_{minPi})$, gdzie: D_{maxPi} i D_{minPi} są odpowiednio dłuższym i krótszym bokiem najmniejszego prostokąta ograniczającego obiekt. Wydłużone ($ELG > 0,2$) przekroje porów sklasyfikowałam na: poziome, HOR_P , odpowiadające za transport substancji w obrębie warstwy gleby; oraz ukośne, $DIAG_P$, i pionowe, VER_P , regulujące transport płynów zarówno w warstwie, jak i między warstwami, ale które różnią się szybkością przepływu – zwłaszcza grawitacyjnego i preferencyjnego. Obliczyłam następnie udziały tych 3 klas porów w liczebności porów wydłużonych i przeprowadziłam analizę statystyczną. Udział ukośnych przekrojów porów był podobny w poziomach B, BC i C. Gleba płowa wykazała w poziomie C największy udział poziomych i najmniejszy – pionowych przekrojów porów. W profilach pozostałych gleb udziały porów poziomych i pionowych nie były zróżnicowane statystycznie. Udziały porów w klasach orientacji nie różniły się także znacząco między badanymi typami gleb, chociaż gleba brunatna wykazała na ogół mniejszy udział porów ukośnych. W większości przypadków udział porów poziomych wynosił 0,116–0,157, udział porów ukośnych 0,494–0,555, a pionowych 0,288–0,375. Poziomy Bt, BC i C gleby płowej oraz poziom Bs bielicy charakteryzowały się wyjątkowo dużym udziałem poziomych porów, a tym samym znacznie mniejszym udziałem pionowych. Wynikało to z wysokiej zawartości frakcji ilastej lub półtoratlenków, co nadało tym poziomom wysoką spójność, utrudniając pionowy wzrost korzeni roślin. Wykonane analizy ukierunkowania przekrojów porów i elementów fazy stałej pozwoliły uszczegółowić opis makrostruktury czarnoziemiu (**I.B.2**) oraz pomogły zinterpretować inne parametry morfometryczne poziomów wzbogacania (**I.B.4**).

Jak wynika z moich badań (**I.B.1, I.B.2, I.B.4**) oraz przeglądu literatury, wskaźniki kształtu, ze względu na swą dużą użyteczność, są powszechnie wykorzystywane w analizie struktury gleby. Jednak nawet w najnowszej literaturze, dotyczącej badań struktury gleby za pomocą komputerowej analizy obrazu, często pomijana jest ważna informacja o warunkach prowadzenia analizy kształtu: liczba pikseli w obiekcie minimalnym, metoda obliczania obwodu, rozdzielczość obrazu na piksel itp. (np. Li i Li 2017). Tak opracowane wyniki analizy kształtu trudno prawidłowo zinterpretować i są zatem mało przydatne. Ponadto brakuje usystematyzowanej wiedzy na temat wskaźników kształtu, ponieważ główną uwagę poświęca się badanemu za jego pomocą obiektowi, np. glebie. W szerokiej gamie wskaźników kształtu można w szczególności wyróżnić grupę popularnych wskaźników, które oblicza się z relacji powierzchni i obwodu przekroju poru lub elementu fazy stałej (Beaudet-Vidal et al. 1998; Beckmann 1962; Droogers et al. 1998; Hallaire et al. 2000; Pagliai et al. 2004; Panini et al. 1997; Pérès et al. 1998). Do najpowszechniej używanych należy przy tym wskaźnik obliczany z ogólnego wzoru $b \cdot \text{powierzchnia} / \text{obwód}^2$, znany jako wskaźnik okrągłości lub zwartości ($b = 4\pi$, np. Bouma et al. 1977; Chun et al. 2008; Grevers i de Jong 1992; Helland et al. 2008; Holden 1993; Miao et al. 2017; Pardini et al. 1996; Puentes et al. 1992; Sakai et al. 1996; Skvortsova i Morozov 1993; Skvortsova i Sanzharova 2007) lub wskaźnik kształtu G ($b = 1$, np. Mason i Morrow 1991; Øren et al. 1998). Dlatego, mając na uwadze szerokie zastosowanie wskaźnika typu „ $b \cdot \text{powierzchnia} / \text{obwód}^2$ ”, oraz wymienione wyżej istotne braki metodyczne w analizowanej przeze mnie literaturze, przystąpiłam do szczegółowego rozpatrzenia właściwości tego wskaźnika, w celu zwrócenia uwagi na jego specyficzne cechy wynikające z pomiaru na podstawie cyfrowych obrazów makrostruktury gleby. Przeanalizowałam przy tym właściwości wskaźnika zwartości, $CMP = 16A/L^2$, gdzie A to pole przekroju, a L – obwód przekroju poru lub elementu fazy stałej (**I.B.6**).

Próbki gleby o zachowanej budowie pobrałam z poziomów genetycznych A i C lub Ck czterech gleb leśnych: gleby bielcowej typowej i gleby rdzawej typowej o uziarnieniu piasku oraz czarnoziemiu typowego i gleby brunatnej eutroficznej wylugowanej o uziarnieniu pyłu. Aby zapewnić uzyskanie prawidłowych rezultatów, ściśle określiłam warunki prowadzenia pomiaru kształtu. Obrazy makrostruktury do pomiaru wskaźnika zwartości i pozostałych potrzebnych parametrów morfometrycznych przygotowałam w rozdzielczości 1200×1200 dpi, co odpowiadało $1 \text{ pix}^2 = 21,17 \times 21,17 \mu\text{m}^2$. Zdefiniowałam ponadto sposób wyznaczania powierzchni i obwodu przekrojów porów i elementów fazy stałej, a pomiarom poddałam wyłącznie obiekty o minimalnej powierzchni $100 \text{ pix}^2 = 0,045 \text{ mm}^2$, ponieważ nie można prawidłowo oszacować kształtu mniejszych obiektów.

Zastosowany przeze mnie wskaźnik zwartości, CMP , był analogiczny do wspomnianego wskaźnika okrągłości (lub zwartości), obliczanego jako $4\pi \cdot \text{powierzchnia} / \text{obwód}^2$, dla którego figurą odniesienia jest koło. W swoich badaniach jako kształt referencyjny wybrałam jednak kwadrat (wtedy $b = 16$), ponieważ jest on tak samo odtwarzany w dwuwymiarowej przestrzeni euklidesowej, jak i, jeżeli jest równoległy do boków obrazu, w siatce dyskretnej kwadratowych pikseli, które składają się na cyfrowy obraz makrostruktury gleby. Kształtów

inne niż prostokątne, np. koła, nie da się wiernie odtworzyć na rastrowych obrazach komputerowych. Ta wierna reprezentacja figury odniesienia nie była oczywiście konieczna do wykonania prawidłowych obliczeń, ale miała na celu zapewnienie pewnej konceptualnej spójności pomiędzy dyskretnym odzwierciedleniem makrostruktury gleby za pomocą obrazów cyfrowych a ciągłą geometrią, która dostarcza aparatu matematycznego do wyznaczania i klasyfikowania wskaźników kształtu. Wskaźnik zwartości obliczyłam zatem jako $CMP = 16A/L^2$. Obwód przekrojów, L , określiłam za pomocą wzoru Croftona, ponieważ uzyskuje się w ten sposób lepsze przybliżenie obwodu euklidesowego, niż stosując metody oparte na zliczaniu liczby pikseli wzdłuż granicy obiektu. Ponadto obwód wyznaczony z wzoru Croftona w mniejszym stopniu zależy od ukierunkowania przekroju. Tak obliczany CMP zawierał się w zakresie od 0 do $4/\pi$, przyjmując wartości bliskie 0 dla rozgałęzionych lub długich i wąskich kształtów, 1 dla kwadratu i $4/\pi = 1,27$ dla koła. Przekroje porów i elementów fazy stałej zaklasyfikowałam do 7 klas wskaźnika CMP : 0–0,2 ($k=1$); 0,201–0,4 ($k=2$); 0,401–0,6 ($k=3$); 0,601–0,8 ($k=4$); 0,801–1 ($k=5$); 1,001–1,2 ($k=6$) i $>1,2$ ($k=7$). Umożliwiło to sporządzenie rozkładów przekrojów porów i elementów fazy stałej w klasach CMP według powierzchni lub liczebności oraz ocenę właściwości przekrojów w tych klasach bez konieczności uprzedniego przypisywania wartości CMP określonym kształtom.

Dla przekrojów porów i elementów fazy stałej, w 7 klasach k wskaźnika zwartości, obliczyłam parametry morfometryczne: A_{APk} , A_{ASK} , N_{APk} , N_{ASK} , AN_{Pk} , AN_{Sk} . Dzięki kwantyfikacji cech elementów strukturalnych, wyznaczyłam matematyczną relację między liczebnością względną i powierzchnią względną przekrojów elementów strukturalnych w klasach wskaźnika zwartości, $\lg A_{APk} - \lg N_{APk}$ oraz $\lg A_{ASK} - \lg N_{ASK}$, i pokazałam przy tym zmienność AN_{Pk} i AN_{Sk} . Dla przekrojów elementów strukturalnych o $CMP > 0,2$ stwierdziłam wyraźną liniową zależność między $\lg A_{Ak}$ a $\lg N_{Ak}$, zarówno dla przekrojów porów ($R^2 = 0,926$), jak i dla elementów fazy stałej ($R^2 = 0,786$) według ogólnego równania $\lg A_{Ak} = a \cdot \lg N_{Ak} - b$. Dla przekrojów o $CMP \leq 0,2$ odnotowałam najwyższe wartości średniego rozmiaru przekroju poru, AN_{Pi} , i elementu fazy stałej, AN_{Si} . W tej klasie CMP średnie rozmiary przekrojów okazały się również najbardziej zróżnicowane w zależności od poziomu genetycznego i uziarnienia. W kolejnych klasach CMP wartość średniego rozmiaru stopniowo malała wraz ze wzrostem CMP i była na ogół większa dla gleb pyłowych. Określiłam ponadto zależność matematyczną między wskaźnikiem zwartości a powierzchnią przekroju dla porów, $\lg CMP_{Pi} - \lg A_{Pi}$ ($R^2 = 0,348 - 0,681$), i elementów fazy stałej, $\lg CMP_{Si} - \lg A_{Si}$ ($R^2 = 0,544 - 0,982$). Wskaźnik zwartości wzrastał wraz ze spadkiem pola przekroju elementu strukturalnego, według ogólnego wzoru $\lg CMP_i = -a - b \cdot \lg A_i - c \cdot \lg A_i$.

Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, że wskaźnik zwartości, wyznaczany na cyfrowych – rastrowych obrazach makrostruktury gleby, zwiększał się wraz ze zmniejszaniem się powierzchni przekrojów porów i elementów fazy stałej. Małe przekroje miały zwykle większe wartości wskaźnika zwartości, a duże przekroje częściej były klasyfikowane jako nieregularne lub rozgałęzione. W każdej klasie wielkości występował ponadto nieco inny zakres wskaźnika zwartości. Dlatego analiza kształtu elementów strukturalnych gleby powin-

na obejmować szeroki zakres rozmiarów elementów w odniesieniu do rozdzielczości obrazu w celu uzyskania reprezentatywnych rozkładów tych elementów w klasach kształtów. Uzyskane przeze mnie wyniki udowadniają konieczność precyzyjnego definiowania warunków prowadzenia analizy kształtu na podstawie cyfrowych obrazów struktury w celu uzyskania nieobarczonych błędem wyników pomiarów.

3.3. Relacje między makrostrukturą gleby a jej właściwościami fizycznymi, chemicznymi i parametrami środowiska zewnętrznego

Przepływ wody i powietrza w glebie zależy głównie od struktury gleby i kształtowany jest przez charakter porów glebowych oraz układ fazy stałej. W odniesieniu do procesów przepływu, gleba może być traktowana jako układ dwufazowy, składający się z fazy stałej i wolnych przestrzeni. Jeśli ilościowo wyrazimy geometryczną charakterystykę porów i elementów fazy stałej, to możliwe będzie wprowadzenie wskaźników struktury do modeli opisujących procesy przepływu w glebie. Celem kolejnych badań było dlatego opracowanie za pomocą komputerowej analizy obrazu morfometrycznych wskaźników makroporów do wspomagania oceny przepuszczalności wodnej i powietrznej gleby (**LB.3**). Wyniki analizy morfometrycznej dla 5 warstw czarnoziemiu wytworzonego z lessu zestawiono z laboratoryjnymi pomiarami przepuszczalności. Aby zrealizować założony cel, opracowałam nową metodę przetwarzania obrazów makrostruktury. W pierwszym etapie wykonałam wstępną analizę obrazu. Przygotowałam zestawy binarnych obrazów makrostruktury dla badanych warstw. Następnie obrazy te zostały zmodyfikowane przez dodanie szumu o gęstości 5% – pojedynczych pikseli, w celu uzupełnienia obrazów makrostruktury o najmniejsze pory tracone w czasie skanowania. Obrazy poddawałam także operacji zamykania morfologicznego z użyciem kwadratowego elementu strukturującego o rozmiarze od 1 do 12. Uzyskałam w ten sposób 26 serii obrazów: 1 bez szumu, 1 z szumem, i po 12 bez szumu lub z szumem poddanych zamykaniu morfologicznemu. Dla każdej serii obrazów wyznaczyłam średnią powierzchnię względną przekrojów porów, $AA(im)$, która liczbowo odpowiadała objętości względnej $V_{V(im)}$. Wykorzystując test statystyczny wybrałam obrazy, dla których wartości $V_{V(im)}$ były najbardziej zbliżone do zmierzonej laboratoryjnie wartości pojemności powietrznej przy potencjałach $-15,54$ i $-9,81$ kPa, $V_{V(-15.54)}$ i $V_{V(-9.81)}$, typowo wykorzystywanych w badaniach gleboznawczych. Wstępna analiza obrazu została przeprowadzona w celu znalezienia najlepszej reprezentacji rzeczywistego układu makroporów w badanym czarnoziemiu.

Rozszerzonej analizie obrazu poddałam tylko wybrane w pierwszym etapie obrazy makrostruktury. Do poszukiwania związków między morfometrycznymi i zmierzonymi laboratoryjnie parametrami, charakteryzującymi przepuszczalność wodną i powietrzną, przygotowałam ostatecznie 4 zestawy obrazów: z szumem lub bez szumu i o największej zgodności wartości $V_{V(im)}$ z $V_{V(-15.54)}$ lub $V_{V(-9.81)}$. Na tych obrazach wykonałam kolejne operacje morfologiczne, pozwalające wyznaczyć wskaźniki ciągłości układu porów glebowych. Wykonałam dylacje morfologiczne w krokach od $k=1$ do n , aż do osiągnięcia na obrazie wartości $V_{V(im)} = 1$. Obliczyłam w ten sposób nowy wskaźnik szybkości wzrostu sieci porów

$v_G = (1 - V_{V(im)})/n$ ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), który odzwierciedlał stopień złączenia makroporów glebowych. Jako drugi wskaźnik wyznaczyłam liczbę perkolacji, n_{per} , jako interpolowaną wartość liczby kroków następujących po sobie dylacji, pomiędzy którymi zachodzi zmiana znaku wyznaczanej dla obrazu liczby Eulera, ε : $n_{per} = n_k - \varepsilon_k[(n_{k+1} - n_k)/(\varepsilon_{k+1} - \varepsilon_k)]$. Liczba perkolacji odzwierciedlała stan, dla którego przekroje porów na obrazie tworzyły ciągłą sieć. Wyznaczyłam ponadto średni rozmiar przekroju poru jako $\lambda_P = \pi \cdot (V_{V(im)}/L_A)$ (mm) oraz określiłam długość ścieżki porów, L_P (cm), po wyznaczeniu minimalnego szkieletu układu porów na drodze operacji morfologicznych na obrazach struktury. Wyznaczyłam objętości porów stykających się z brzegami obrazu: $V_{V(L+R)}$ i $V_{V(U+D)}$, reprezentujących pory kontaktujące się ze środowiskiem zewnętrznym, przez które do gleby mogą wnikać gazy i roztwory. Obliczyłam ponadto objętości porów łączących przeciwne krawędzie obrazu: $V_{V(hor)}$ i $V_{V(vert)}$; są to grupy porów, które można uznać za aktywne w czasie, odpowiednio, poziomego i pionowego przepływu wody i powietrza przez glebę. Dzięki analizie obrazu wyznaczyłam wskaźniki charakteryzujące układ porów glebowych, ze szczególnym uwzględnieniem łączności porów. Wskaźniki morfometryczne: $V_{V(im)}$, $V_{V(L+R)}$, $V_{V(U+D)}$, $V_{V(hor)}$, $V_{V(vert)}$, v_G , n_{per} , λ_P i L_P , zestawiałam następnie z wyznaczonymi laboratoryjnie parametrami: $\log K_S$, $\log P_{A(-15.54)}$, $\log P_{A(-9.81)}$, $V_{V(-15.54)}$ i $V_{V(-9.81)}$, aby zbadać, czy występują między nimi korelacje.

Makroporowatość uzyskana za pomocą analizy obrazu jest zwykle mniejsza, niż połowa pojemność powietrzna uzyskana z krzywej retencji wody (np. II.D1.3). Niniejsze badania wykazały, że efekt ten był szczególnie widoczny dla próbek o niskiej makroporowatości. Aby zminimalizować to zjawisko, obrazy makrostruktury gleby zostały zmodyfikowane przy użyciu morfologicznego zamknięcia i nałożeniu szumu modelującego małe pory utracone podczas skanowania, jak opisano powyżej. W trakcie badań stwierdziłam, że na obrazach, do których dodano szum, następuje ujednoczenie morfometrycznych wskaźników charakteryzujących łączność makroporów, niezależnie od początkowej makroporowatości i układu porów. Okazało się zatem, że do wyrównania makroporowatości oznaczanej za pomocą analizy obrazu z wynikami laboratoryjnymi wystarczyła jedynie operacja zamykania morfologicznego. Ostatecznie dla obrazów bez szumu stwierdziłam, że objętości względne makroporów stykających się z lewą i prawą oraz dolną i górną krawędzią obrazu, $V_{V(L+R)}$ i $V_{V(U+D)}$, okazały się dobrym oszacowaniem objętości porów odpowiedzialnych odpowiednio za poziomy i pionowy transport wody w glebie, $V_{V(hor)}$ i $V_{V(vert)}$. Wartości $V_{V(L+R)}$, $V_{V(U+D)}$ i $V_{V(im)}$ malały wraz ze spadkiem zmierzonego laboratoryjnie przewodnictwa wodnego $\log K_S$ (R 0,910*–0,977**). Nowy wskaźnik szybkości wzrostu sieci makroporów glebowych v_G , dobrze reprezentował przepuszczalność powietrzną, a współczynnik korelacji, R , między tymi cechami wynosił 0,880*–0,885*. Przepuszczalność powietrzna $\log P_{A(-15.54)}$ wzrastała wraz ze wzrostem długości ścieżki porów, L_P ($R = 0,906^*$). Wykonana morfologiczna i morfometryczna analiza makrostruktury potwierdziła, że najważniejszymi parametrami wpływającymi na przepływ płynów w glebie jest łączność porów oraz ich objętość. Wyniki uzyskane z analizy obrazu (np. $V_{V(L+R)}$, $V_{V(U+D)}$, v_G , L_P), pozwoliły sformułować jakościowe wnioski dotyczące poziomu przepuszczalności wodnej i powietrznej analizowanej gleby.

W omówionych wcześniej badaniach poziomów wzbogacania (**I.B.4**), wskaźniki morfometryczne makrostruktury, A_{AP} , A_{AS} , L_A , N_{AP} , N_{AS} , A_{NP} , A_{NS} , HOR_P , $DIAG_P$ i VER_P , zostały zestawione z wybranymi właściwościami fizycznymi i chemicznymi gleby: zawartością frakcji granulometrycznych (piasku c_s , pyłu c_{si} i łu c_c), zawartością węgla organicznego (TOC), pH, porowatością ogólną (P_O), gęstością gleby (ρ) i gęstością stałej fazy gleby (ρ_s). W analizowanych poziomach genetycznych, B, BC i C, zawartość węgla organicznego była dodatnio skorelowana z liczebnością względną przekrojów elementów fazy stałej N_{AS} ($R = 0,757^*$), makroporowatością A_A ($R = 0,515^*$) i długością względną linii granicznej między porami a stałą fazą L_A ($R = 0,558^*$), co wskazywało na wyższy stopień ukształtowania struktury agregatowej w poziomach zasobniejszych w materię organiczną. Stwierdzono także wyraźne korelacje między parametrami charakteryzującymi pory: średnią powierzchnią A_{NP} i liczebnością względną N_{AP} przekrojów porów oraz długością linii granicznej między porami a stałą fazą L_A a zawartością frakcji granulometrycznych: c_s (R dla korelacji z A_{NP} : $-0,603^*$; N_{AP} : $0,697^*$; L_A : $0,495^*$), c_{si} (A_{NP} : $0,648^*$; N_{AP} : $-0,697^*$) i c_c (N_{AP} : $-0,635^*$; L_A : $-0,538^*$). Makroporowatość A_A , średnia powierzchnia przekroju poru A_{NP} i liczebność względna przekrojów elementów fazy stałej N_{AS} były skorelowane z gęstością gleby ρ (R równe odpowiednio $-0,476^*$; $-0,595^*$; $-0,472^*$). Wartości tych parametrów wzrastały wraz ze spadkiem gęstości, co potwierdzało zaobserwowane wcześniej postępujące rozluźnienia gleby i powstawanie dyskretnych agregatów. Porowatość ogólna P_O korelowała dodatnio ze średnią powierzchnią przekroju poru A_{NP} ($R = 0,679^{**}$), co w pośredni sposób uwidaczniało wpływ czynnika biologicznego na makrostrukturę omawianych gleb, ponieważ duże pory tworzyły się dzięki korzeniom lub aktywności dżdżownic. W badanych glebach makrostruktura była kontrolowana zarówno przez czynniki abiotyczne, jak i biotyczne i ich znaczenie było różne w zależności od materiału macierzystego gleby i jego uziarnienia, materii organicznej i rodzaju roślinności. W przypadku gleb piaszczystych (bielicy, gleby bielicowej i rdzawej) o niskiej zdolności do kurczenia się i pęcznienia, związanej z małą zawartością łu, głównym czynnikiem powstawania i rozpadu agregatów były korzenie. W glebach pyłowych (płowa i brunatna), o wyższej zawartości łu, zarówno czynniki abiotyczne (uziarnienie), jak i biotyczne (dżdżownice, korzenie) determinowały makrostrukturę gleby. Współdziałające czynniki biotyczne i abiotyczne praktycznie w równym stopniu wpłynęły na poziomy B, BC i C gleb pyłowych, dlatego, w odniesieniu do uzyskanych parametrów morfometrycznych (A_A , A_{NP} , A_{NS} , L_A , N_{AP} i N_{AS}) poziomy B gleb pyłowych miały makrostrukturę podobną do poziomów C, chociaż analiza morfologiczna wykazała istnienie cech pedogenicznych zarówno w poziomach Bt, jak i Bw. Z drugiej strony makrostruktura poziomów B gleb piaszczystych była determinowana przez czynniki biotyczne, działające praktycznie tylko w obrębie tych poziomów. Dlatego makrostruktura poziomów B gleb piaszczystych różniła się ilościowo od odpowiednich poziomów C. Udowodniono dzięki temu, że w poziomach B gleb piaszczystych pierwotna makrostruktura materiału macierzystego zanikła na skutek wzbogacenia poziomów B w substancję organiczną, glin i żelazo oraz aktywność fauny i flory, czego efektem było powstawanie agregatów lub porów rozdzielających materiał glebowy. Podsumowując, para-

metry morfometryczne makrostruktury w sposób logiczny korelowały z podstawowymi fizycznymi i chemicznymi właściwościami gleby: zawartość węgla organicznego i porowatość ogólna wzrastały, a gęstość gleby malała wraz ze wzrostem parametrów morfometrycznych pokazujących powstawanie mniej zwartego układu gleby. Wyznaczone korelacje pozwoliły zidentyfikować wśród analizowanych przez mnie cech materiału glebowego parametry najsilniej wpływające na makrostrukturę badanych poziomów wzbogacania.

Wyznaczenie parametrów morfometrycznych makrostruktury pozwoliło również na znalezienie ilościowych relacji między makrostrukturą a właściwościami gleby zmierzonymi laboratoryjnie oraz warunkami pogodowymi oddziałującymi na pozbawioną okrywy glebę płąwą (**I.B.5**). Aktualna przepuszczalność powietrzna $\log AP_a$ była dodatnio skorelowana z objętościami największych porów: $IAo-PV_{300-1000}$, $IAo-PV_{1000-3000}$ i $IAC-PV_{3000-10000}$ ($R = 0,605^{**} - 0,654^{**}$), podobnie jak $\log AP_{>300}$ z $IAo-PV_{>3000}$ ($R = 0,567^{**}$). Przepuszczalność powietrzna $\log AP_{>6}$ była poza tym ujemnie skorelowana z objętością mniejszych porów: $IAo-PV_{20-30}$ i $IAC-PV_{30-100}$ ($R = -0,578^{**}$ i $-0,565^{**}$). Makroporowatość A_{AP} i średnia powierzchnia przekroju poru A_{NP} wzrastała, gdy liczebność względna przekrojów porów N_{AP} i średnia powierzchnia elementu fazy stałej A_{NS} malała wraz ze spadkiem średniej temperatury między terminami badań T_{in} . Objętość porów największych $IAC-PV_{3000-10000}$ i $IAC-PV_{10000-30000}$ malała wraz ze wzrostem sumy opadów Prc_{20} , $Rain_{20}$, $Rain_{30}$ i $Rain_{in}$ (R od $-0,484^*$ do $-0,547^*$), a wzrastała przy tym objętość porów mniejszych $IAo-PV_{20-30}$, $IAo-PV_{300-1000}$, $IAC-PV_{30-100}$, $IAC-PV_{100-300}$ i $IAC-PV_{300-1000}$ ($R = 0,446^* - 0,549^*$). Objętości największych porów ($IAo-PV > 300 \mu m$ i $IAC-PV > 3000 \mu m$) wzrastały wraz ze spadkiem temperatury T_{in} (R od $-0,583^{**}$ do $-0,700^{**}$), potwierdzając znany efekt rozluźniającego działania mrozu na wierzchnią warstwę gleby, która najsilniej reaguje na procesy zamarzania i rozmarzania. Objętości porów mniejszych wzrastały wraz ze wzrostem średniej temperatury między terminami badań ($R = 0,476^* - 0,587^{**}$), co można tłumaczyć wysychaniem masy glebowej, które jednak nie było całkowite, uniemożliwiając pełne wykształcenie się porów typu szczelin. Zaobserwowana przy użyciu analizy obrazu reorganizacja porów glebowych potwierdziła wyniki uzyskane na podstawie krzywej desorpcji wody ($SWC-PV$). Dzięki analizie obrazu oceniono także zmiany zachodzące w układzie stałej fazy gleby. Liczebność względna przekrojów porów N_{AP} korelowała z wyznaczonymi za pomocą metody wykorzystującej serię następujących po sobie operacji otwierania morfologicznego (Vogel 1997) objętościami fazy stałej $IAo-SV$, co w sposób pośredni pozwoliło prześledzić zmiany układu porów. Objętości $IAo-SV_{30-100}$, $IAo-SV_{100-300}$ i $IAo-SV_{300-1000}$ wzrastały ($R = 0,683^{**} - 0,952^{**}$), a objętości $IAo-SV_{1000-3000}$ i $IAo-SV_{>3000}$ malały ($R = -0,761^{**}$ i $-0,543^*$) wraz ze wzrostem N_{AP} . Wyniki te potwierdzają, że wraz ze wzrostem liczby porów malał ich rozmiar (A_{NP}) i wzrastała gęstość opisywana ich liczebnością na jednostkę powierzchni (N_{AP}). Objętości elementów fazy stałej korelowały z temperaturą powietrza T_{in} . Objętość $IAC-SV_{1000-10000}$ wzrosła wraz ze spadkiem temperatury (R od $-0,535^*$ do $-0,577^{**}$), a jednocześnie objętość $IAC-SV_{>30000}$ zmalała ($R = 0,591^{**}$), wskazując na rozluźniający wpływ mrozu na glebę. Suma opadów Prc_{30} zwiększyła objętość największych elementów fazy stałej wykrytych metodą IAo ,

IAo-SV_{>3000} ($R = 0,508^*$). Z drugiej strony, objętość elementów o pośrednich rozmiarach według metody IAc, IAc-SV_{1000–3000}, zmalała w wyniku deszczu ($Rain_{20}$: $-0,453^*$; $Rain_{30}$: $-0,475^*$). Te korelacje potwierdzają zagęszczanie gleby, zauważone także na obrazach makrostruktury. Podsumowując, wykryte różnokierunkowe korelacje parametrów morfometrycznych z właściwościami fizycznymi gleby oraz warunkami pogodowymi uzupełniły opis stanu fizycznego gleby. Dowiodły one konsolidacji gleby w trakcie badanego okresu od października 2009 do czerwca 2010 i pozwoliły zidentyfikować czynniki odpowiedzialne za ten proces. Dzięki licznym korelacjom stwierdzono, że temperatura wpłynęła na intensywność wysychania gleby oraz na procesy zamarzania i rozmarzania. Wpływ temperatury należy jednak uznać za pośredni i zależny od innych czynników, np. wilgotności gleby wynikającej z wielkości opadów. Poza tym większość wykrytych zmian stanu fizycznego gleby można było przypisać mechanicznemu wpływowi deszczu, który przebudował układ porów i fazy stałej w wierzchniej warstwie badanej gleby.

W badaniach dotyczących wskaźnika zwartości (**I.B.6**) wyznaczyłam równania pojedynczych i wielokrotnych regresji liniowych między parametrami morfometrycznymi w klasach wskaźnika zwartości dla przekrojów porów i elementów fazy stałej (A_{AP} , A_{APk} , N_{AP} , N_{APk} , AN_{Pk} , A_{AS} , A_{ASK} , N_{AS} , N_{APk} , AN_{Sk}) a właściwościami fizycznymi i chemicznymi (TOC , ρ_s , ρ_d , c_s , c_{si} , c_c oraz FWC , FAC , AWC , lgK_s i $lgFAP$). W pracy rozważyłam najpierw cechy elementów fazy stałej i porów zgrupowanych w 7 klasach wskaźnika zwartości CMP . Analizując na obrazach makrostruktury kształty obiektów zaliczanych do kolejnych klas, podzieliłam ostatecznie badane przekroje na „bardzo zwarte” o $CMP > 0,8$ (klasy 5–7), „zwarte” o $CMP 0,401–0,8$ (klasy 3 i 4) oraz „rozgałęzione” lub „nieregularne” o $CMP \leq 0,4$ (klasy 1 i 2).

Określiłam wpływ cech materiału glebowego, takich jak uziarnienie (c_s , c_{si} , c_c), gęstość stałej fazy (ρ_s) i zawartość węgla organicznego (TOC) oraz odniosłam parametry morfometryczne do gęstości gleby (ρ_d). Średnia powierzchnia zwartych i bardzo zwartych porów i elementów fazy stałej ($AN_{P3}–AN_{P6}$, $AN_{S3}–AN_{S6}$) wzrosła ze wzrostem zawartości frakcji łu i pyłu ($R^2 0,744^{**}–0,893^{***}$) oraz spadkiem zawartości frakcji piasku ($R^2 0,744^{**}$). W glebach wytworzonych z lessu nawet większe przekroje wykazywały gładzsze krawędzie niż w glebach piaszczystych, co wykazałam także w pracy **I.B.1**. Ich obrysy były zatem mniej rozwinięte i pofałdowane, a mierzone obwody mniejsze, co ostatecznie dało wyższe wartości wskaźnika CMP . Całkowita liczebność względna (N_{AP}) i liczebności względne przekrojów porów w klasach CMP ($N_{AP2}–N_{AP7}$) zależały od uziarnienia i gęstości stałej fazy gleby ($R^2 0,755^{**}–0,953^{***}$). Średnie powierzchnie w tych klasach kształtu ($AN_{P2}–AN_{P7}$) były do 1–2 rzędów wielkości mniejsze niż średnia powierzchnia najbardziej rozgałęzionych porów (AN_{P1}). Analiza morfologiczna potwierdziła, że małe pory obecne w badanych glebach, szczególnie w glebach piaszczystych, wynikały przede wszystkim z upakowania pojedynczych ziaren tworzywa mineralnego budującego glebę. Dlatego ilość i rozmiar porów glebowych wykazywały silny związek ze składem granulometrycznym. Odnotowałam także wzrost udziału powierzchniowego i liczbowego niektórych najbardziej zwartych porów ($CMP \geq 1$) wraz ze wzrostem zawartości frakcji łu. Większy udział takich małych i okrągłych porów

(tzw. *Nadelstichporen*) rzeczywiście zaobserwowałam w glebach wytworzonych z lessu, które miały wyższą zawartość frakcji iltu niż gleby piaszczyste. Analogiczne parametry dla elementów fazy stałej zależały od zawartości węgla organicznego *TOC* i gęstości gleby ρ_d , przy czym dwie ostatnie cechy były silnie ujemnie skorelowane (R^2 0,721). Liczebność oddzielnych (dyskretnych) elementów stałej fazy, w tym agregatów, niezależnie od ich kształtu (N_{AS} , N_{AS2} – N_{AS7}), wzrastała ze wzrostem *TOC* i malała na skutek wzrostu gęstości gleby ρ_d (R^2 0,701**–0,958***). Wynika to z faktu, że materia organiczna sprzyja tworzeniu agregatów. Średnia powierzchnia najbardziej rozgałęzionych (i największych) elementów fazy stałej gleby (AN_{SI}) malała wraz ze spadkiem gęstości gleby i wzrostem *TOC* (R^2 0,880**), co potwierdziłam także za pomocą morfologicznej analizy obrazów makrostruktury. Jednocześnie, wraz z powstawaniem dyskretnych agregatów, następował rozwój ciągłej sieci porów, widoczny jako przyrost powierzchni i liczby porów rozgałęzionych. Potwierdziły to zależności A_{AP} , A_{AP1} , A_{AP2} i N_{AP1} z *TOC* i ρ_d (R^2 0,818–0,913***).

Badałam następnie, czy parametry morfometryczne elementów strukturalnych należących do kolejnych klas wskaźnika zwartości wykazują relacje z powietrznymi i wodnymi właściwościami gleby. Wykazałam, że połowa pojemność wodna *FWC* i zawartość wody dostępnej *AWC* wzrastały ze spadkiem liczebności względnej głównie zwartych i bardzo zwartych porów (N_{AP2} – N_{AP4}) przy jednoczesnym spadku średniej powierzchni najbardziej rozgałęzionych elementów fazy stałej AN_{SI} (R^2 0,889**–0,974***). Obie pojemności wodne wzrastały wraz ze wzrostem średnich powierzchni niemal wszystkich, z wyjątkiem najbardziej rozgałęzionych, przekrojów porów (AN_{P2} – AN_{P7} , R^2 0,881***–0,935***) i średnimi powierzchniami zwartych i bardzo zwartych przekrojów elementów fazy stałej (AN_{S3} – AN_{S6} , R^2 0,875***–0,942***). Ponadto połowa pojemność powietrzna, *FAC*, wzrastała ze wzrostem całkowitej liczebności względnej (N_{AP} , R^2 0,820***) i liczebności względnej zwartych i bardzo zwartych przekrojów porów (N_{AP3} – N_{AP6} , R^2 0,828***–0,941***). Te parametry morfometryczne zależały od uziarnienia, dlatego stwierdziłam, że zaobserwowane relacje pokazywały pośrednio zależność właściwości wodnych i powietrznych gleby (*AWC*, *FWC* i *FAC*) od uziarnienia, raczej niż od kształtu porów i elementów fazy stałej. Połowa przepuszczalność powietrzna (*lgFAP*) i przewodnictwo wodne (*lgK_s*) zależały od powierzchni względnej większości klas przekrojów porów (A_{AP2} – A_{AP5} , R^2 0,706**–0,935***). Wartość *lgK_s* wzrastała także ze wzrostem liczebności względnej zwartych i bardzo zwartych przekrojów porów (N_{AP3} – N_{AP5} , R^2 0,753**–0,764**). Przeciwnie niż oczekiwałam, te relacje stawały się silniejsze, szczególnie dla *lgFAP*, wraz ze wzrostem *CMP* przekrojów porów, tzn. gdy pory stawały się mniejsze i bardziej zwarte i prawdopodobnie w większym stopniu od siebie odizolowane. Wartość *lgFAP* wzrastała ze wzrostem średnich powierzchni zwartych i bardzo zwartych przekrojów porów (AN_{P3} – AN_{P7} , R^2 0,710**–0,758**). Połowa przepuszczalność powietrzna (*lgFAP*) zależała ponadto od średniej powierzchni najbardziej rozgałęzionych przekrojów porów (AN_{P1}) w połączeniu z liczebnością względną większości klas przekrojów porów (N_{AP2} – N_{AP5}) lub średnią powierzchnią najbardziej rozgałęzionych przekrojów elementów fazy stałej (AN_{SI}) (R^2 0,864**–0,952***). Biorąc pod uwagę właściwości przekrojów porów

w kolejnych klasach *CMP*, spodziewałam się bezpośredniej relacji przepuszczalności powietrznej z powierzchnią względną najbardziej rozgałęzionych przekrojów porów. Takie pory są największe, dzięki temu tworzą najdłuższą ścieżkę dla powietrza i wody przemieszczających się w glebie. Rzeczywiście, $\lg FAP$ silnie zależało od powierzchni względnej najbardziej nieregularnych przekrojów (A_{API}), ale dodatkowym parametrem w tej relacji była również średnia powierzchnia najbardziej nieregularnych przekrojów elementów fazy stałej (AN_{SI}) ($R^2 0,889^{**}$).

Podsumowując, powierzchnia i liczebność obiektów w wybranych klasach wskaźnika zwartości wykazały liczne związki z fizycznymi i chemicznymi właściwościami gleb w poziomach genetycznych A, C i Ck o uziarnieniu piasków lub pyłów. Relacje te były odmienne dla przekrojów porów i dla przekrojów elementów fazy stałej i zależały także od kształtu obiektów: rozgałęzionego, zwartego i bardzo zwartego.

4. Podsumowanie

Kwantyfikacja makrostruktury gleby stanowi ważny element studiów gleboznawczych. Z tego względu opracowałam zestaw wskaźników, służących do liczbowej charakterystyki struktury w bezpośrednich badaniach struktury z wykorzystaniem analizy obrazu. Przeprowadzone badania potwierdziły wysoką użyteczność wybranego przeze mnie bazowego zestawu ilościowych wskaźników makrostruktury gleby. Jednoczesny opis porów, jak i elementów fazy stałej, w tym agregatów glebowych, pozwolił na kompleksową charakterystykę stanu makrostruktury gleby w zróżnicowanych tematycznie badaniach. Wykorzystałam omówione wskaźniki do charakterystyki makrostruktury: czarnoziemów w różnych wariantach uprawy, poziomów wzbogacania i wierzchniej warstwy gleby płowej poddanej działaniu czynników pogodowych oraz do zbadania właściwości wskaźnika zwartości. Zaproponowany przeze mnie zestaw wskaźników wykazał zatem dużą uniwersalność.

Liczbowe wskaźniki poddawane były analizie statystycznej, dzięki czemu mogłam weryfikować stawiane hipotezy badawcze. Wymienione parametry makrostruktury obliczane i interpretowane łącznie dostarczały jednoznacznych informacji o stanie makrostruktury gleby, co zostało także potwierdzone dzięki, wykonywanej równoległe z pomiarami, morfologicznej analizie obrazów makrostruktury. Bazowe parametry morfometryczne zostały uzupełnione przez wskaźniki kształtu: wskaźnik szorstkości obrysów przekrojów agregatów i wskaźnik zwartości oraz wskaźnik wydłużenia, który był wykorzystywany do wybrania przekrojów porów lub elementów fazy stałej do analizy ukierunkowania. Moje badania wykazały, że analiza ukierunkowania dostarcza cennych informacji o stanie struktury i jej reorganizacji pod wpływem czynników zewnętrznych, dzięki czemu uszczegółowia opis gleby oraz pomaga interpretować bazowe parametry morfometryczne.

Poszukiwania nowych wskaźników morfometrycznych doprowadziły ponadto do opracowania nowych algorytmów przetwarzania obrazów makrostruktury. Algorytmy były dostosowane do wyznaczenia zaproponowanych przeze mnie: wskaźnika szorstkości obrysów przekrojów agregatów oraz wskaźnika szybkości wzrostu sieci porów.

W moich badaniach zwróciłam też uwagę na zagadnienia metodyczne, związane z pozyskiwaniem informacji o strukturze gleby z rastrowych obrazów. Analiza dostępnej literatury z zakresu badań makrostruktury gleb wykazała, że autorzy nie stosują tzw. ramki ochronnej podczas zliczania badanych przekrojów porów lub elementów fazy stałej, co prowadzi do zawyżonych wyników pomiarów liczebności przy analizie serii obrazów struktury. Ponadto, na przykładzie nieopisanej dotąd w literaturze analizy właściwości wskaźnika zwartości, udowodniłam znaczenie sprecyzowania warunków wykonywania pomiarów, jak rozdzielczość obrazu, minimalny rozmiar analizowanego obiektu, sposób wyznaczania pola przekroju lub obwodu, szczególnie w analizie kształtu przekrojów porów lub elementów fazy stałej. Brak tych informacji utrudnia prawidłową interpretację wyników, a także uniemożliwia powtórzenie prezentowanych badań, znacznie obniżając ich naukową wartość.

Końcowym efektem przeprowadzonych badań było włączenie wskaźników morfometrycznych do kompleksowej ilościowej oceny stanu i przemian makrostruktury w odniesieniu do cech materiału glebowego oraz czynników zewnętrznych. Moje badania wykazały po raz pierwszy lub potwierdziły występowanie wielu istotnych statystycznie relacji między wskaźnikami morfometrycznymi a właściwościami gleby (*TOC*, uziarnienie, gęstość, porowatość, pojemności i przepuszczalności wodne i powietrzne) oraz między wskaźnikami morfometrycznymi a warunkami zewnętrznymi (temperatura, opady, działalność flory i fauny glebowej). Wyznaczone korelacje i równania regresji pozwoliły zidentyfikować wśród analizowanych cech i czynników parametry najsilniej wpływające na makrostrukturę. Potwierdziłam dzięki temu, że najważniejszymi parametrami wpływającymi na przepływ płynów w glebie jest łączność porów oraz ich objętość. Wykazałam użyteczność opracowanego przeze mnie wskaźnika szybkości wzrostu sieci porów do oceny przepuszczalności powietrznej, z którą silnie korelował. Udowodniłam, że w poziomach wzbogacania gleb piaszczystych (bielicy, gleby bielicznej i rdzawej), pierwotna makrostruktura materiału macierzystego zanikła na skutek wzbogacenia poziomów B w substancję organiczną, glin i żelazo oraz aktywność fauny i flory, czego efektem było powstawanie agregatów lub porów rozdzielających materiał glebowy. Natomiast w poziomach wzbogacania gleb pyłowych (płowej i brunatnej), zarówno czynniki abiotyczne (uziarnienie), jak i biotyczne (dżdżownice, korzenie) determinowały makrostrukturę gleby. Wykazałam ponadto dzięki licznym korelacjom, że temperatura wpłynęła na intensywność wysychania wierzchniej warstwy gleby płowej oraz na procesy zamarzania i rozmarzania. Wpływ temperatury był jednak pośredni i zależał od wilgotności, wynikającej z wielkości opadów. Większość wykrytych zmian stanu fizycznego można było zatem przypisać mechanicznemu oddziaływaniu deszczu. Znalazłam także związki między parametrami przekrojów porów i elementów fazy stałej o różnym kształcie a wybranymi właściwościami fizykochemicznymi gleb piaszczystych i pyłowych. Ilość i kształt, silnie zależny od rozmiaru, dla porów glebowych wykazywały związek z uziarnieniem, natomiast dla elementów fazy stałej zależały od zawartości węgla organicznego i gęstości gleby. Połowa przepuszczalność powietrzna silnie korelowała jednocześnie z powierzchnią względną najbardziej nieregular-

nych przekrojów porów i średnią powierzchnią najbardziej nieregularnych przekrojów elementów fazy stałej.

Proponowane przeze mnie wskaźniki makrostruktury, które umożliwiają w równym stopniu charakteryzowanie porów, jak i elementów fazy stałej, mogą zostać użyte do powiązania cech struktury z innymi cechami funkcjonalnymi gleby. Mogą zatem znaleźć zastosowanie w modelach opisujących procesy przepływu w glebie lub służyć do porównania stanów fizycznych gleby, kształtowanych przez zmienne właściwości fizykochemiczne gleby oraz procesy i czynniki zewnętrzne.

Techniki obrazowania, dostarczające w sposób bezpośredni informacji o strukturze gleby, są dostępne tylko w ośrodkach naukowych, dlatego Rabot et al. (2018) postulują konieczność stworzenia otwartej biblioteki obrazów struktur glebowych dla szerokiej gamy typów gleby. Wraz z obrazami struktury w bazie danych gromadzona byłaby informacja o wybranych wskaźnikach struktury wraz z metadanymi (definiującymi np. technikę obrazowania, wielkość próbki, rozdzielczość obrazu), charakterystyką terenu i gleby (np. typ gleby, uziarnienie, *TOC*, głębokość pobierania próbek itp.) oraz uzupełniającymi właściwościami gleby (np. przewodnictwo wodne, przepuszczalność powietrzna itp.). Dzięki takiej bazie danych możliwe byłoby znalezienie relacji między wybranymi wskaźnikami struktury gleby a prostszymi do zmierzenia parametrami opisującymi strukturę gleby. W tym kontekście mogę stwierdzić, że rekomendowany przeze mnie zestaw bazowych wskaźników makrostruktury, proponowane zalecenia metodyczne oraz wyniki badań dotyczących kwantyfikacji makrostruktury gleby i relacji parametrów morfometrycznych z innymi cechami środowiska glebowego, mogłyby zostać wykorzystane w tworzeniu opisanej wyżej bazy danych.

5. Literatura uzupełniająca

- ADCIS SA, AAI Inc. 2007. Aphelion Image and Understanding Software, version 2.3i.
- ADCIS SA, AAI Inc. 2010. Aphelion Imaging Software Suite, version 4.0.8.
- Asare S.N., Rudra R.P., Dickinson W.T., Wall G.J. 1997. Frequency of freeze-thaw cycles, bulk density and saturation effects on soil surface shear and aggregate stability in resisting water erosion. *Canadian Agricultural Engineering*, 39, 273–279.
- Beaudet-Vidal L., Fradin V., Rossignol J.-P. 1998. Study of the macroporosity of reconstituted anthropic soils by image analysis. *Soil and Tillage Research*, 47, 173–179
- Beckmann W., 1962. On the micromorphometric investigation of cavities and aggregates in soils. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 99, 129–139.
- Bodziony J., Konstankiewicz K., Młynarczuk M., Ratajczak T. 1993. Assessment of the porosity of soil samples according to the method of stereological analysis. *International Agrophysics*, 7, 35–46.
- Boizard H., Yoon S.W., Leonard J., Lheureux S., Cousin I., Roger-Estrade J., Richard G. 2013. Using a morphological approach to evaluate the effect of traffic and weather conditions on the structure of a loamy soil in reduced tillage. *Soil and Tillage Research*, 127, 34–44.
- Bouma J., Jongerius A., Boersma O., Jager A., Schoonder-beek D. 1977. The function of different types of macropores during saturated flow through four swelling soil horizons. *Soil Science Society of America*, 41, 945–950
- Carminati A., Kaestner A., Ippisch O., Koliji A., Lehmann P., Hassanein R., Vontobel P., Lehmann E., Laloui L., Vulliet L., Flühler H. 2007. Water flow between soil aggregates. *Transport in Porous Media*, 68, 219–236.

- Chun H.-C., Giménez D., Yoon S.-W. 2008. Morphology, lacunarity and entropy of intra-aggregate pores: aggregate size and soil management effects. *Geoderma*, 146, 83–93.
- Croft H., Anderson K., Brazier R.E., Kuhn N.J. 2013. Modeling fine-scale soil surface structure using geostatistics. *Water Resources Research*, 49, 1858–1870.
- Domżał H., Słowińska-Jurkiewicz A. 1987. Effects of tillage and weather conditions on structure and physical properties of soil and yield of winter wheat. *Soil and Tillage Research*, 10, 225–241.
- Domżał H., Słowińska-Jurkiewicz A. 1996. Struktura gleby jako wskaźnik agrotechnicznych i ekologicznych skutków zanieczyszczenia gleb użytkowanych rolniczo. *Fragmenta Agronomica*, 49(1), 104–113.
- Droogers P., Stein A., Bouma J., de Boer G. 1998. Parameters for describing soil macroporosity derived from staining patterns. *Geoderma*, 83, 293–308.
- Dürr C., Aubertot J.-N. 2000. Emergence of seedlings of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) as affected by the size, roughness and position of aggregates in the seedbed. *Plant and Soil*, 219, 211–220.
- Fan Y., Lei T., Shainberg I., Cai Q. 2008. Wetting rate and rain depth effects on crust strength and micromorphology. *Soil Science Society of America Journal*, 72, 1604–1610.
- Grevers M.C.J., de Jong E. 1992. Soil structure changes in subsoiled Solonchic and Chernozemic soil measured by image analysis. *Geoderma*, 53, 289–307.
- Hallaire V., Curmi P., Dubois A., Lavelle P., Pashanasi B. 2000. Soil structure changes induced by the tropical earthworm *Pontoscolex corethrurus* and organic inputs in a Peruvian ultisol. *European Journal of Soil Biology*, 36, 35–44.
- Helland J.O., Ryazanov A.V., van Dijke M.I.J. 2008. Characterization of pore shapes for pore network models. W: *Proceedings of the 11th European Conference on the Mathematics of Oil Recovery (ECMOR XI)*, Bergen, Norway, 8–11 September 2008.
- Holden N.M. 1993. A two-dimensional quantification of soil ped shape. *Journal of Soil Science*, 44, 209–219.
- Horgan G.W. 1998. Mathematical morphology for analysing soil structure from images. *European Journal of Soil Science*, 49, 161–173.
- Komisja Genezy, Klasyfikacji i Kartografii Gleb PTG 2011. *Systematyka gleb Polski*. Wydanie 5. *Roczniki Gleboznawcze–Soil Science Annual*, 62(3), 1–193.
- Li X.A., Li L.C. 2017. Quantification of the pore structures of Malan loess and the effects on loess permeability and environmental significance, Shaanxi Province, China: an experimental study. *Environmental Earth Sciences*, 76, 523.
- Lipiec J., Dębicki R. 1989. Zależność między strukturą gleb a ich właściwościami. *Roczniki Gleboznawcze*, 40(2), 5–19.
- Mason G., Morrow N.R. 1991. Capillary behavior of a perfectly wetting liquid in irregular triangular tubes. *Journal of Colloid and Interface Science*, 141, 262–274.
- Miao X., Gerke K.M., Sizonenko T.O. 2017. A new way to parameterize hydraulic conductances of pore elements: a step towards creating pore-networks without pore shape simplifications. *Advances in Water Resources*, 105, 162–172.
- Øren P.E., Bakke S., Arntzen O.J. 1998. Extending predictive capabilities to network models. *SPE Journal*, 3, 324–336.
- Pagliai M., Vignozzi N., Pellegrini S. 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil and Tillage Research*, 79, 131–143.
- Panini T., Torri D., Pellegrini S., Pagliai M., Salvador Sanchis M.P. 1997. A theoretical approach to soil porosity and sealing development using simulated rainstorms. *Catena*, 31, 199–218.
- Pardini G., Vigna Guidi G., Pini R., Regüés D., Gallart F. 1996. Structure and porosity of smectitic mudrocks as affected by experimental wetting-drying cycles and freezing-thawing cycles. *Catena*, 27, 149–165.
- Pereira V., FitzPatrick E.A. 1995. Cambisols and related soils in north-central Portugal: their genesis and classification. *Geoderma*, 66, 185–212.
- Pérès G., Cluzeau D., Curmi P., Hallaire V. 1998. Earthworm activity and soil structure changes due to organic enrichments in vineyard systems. *Biology and Fertility of Soils*, 27, 417–424.
- Phillips D.H., FitzPatrick E.A. 1999. Biological influences on the morphology and micromorphology of selected Podzols (Spodosols) and Cambisols (Inceptisols) from the eastern United States and north-east Scotland. *Geoderma*, 90, 327–364.
- Polskie Towarzystwo Gleboznawcze 2009. *Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych – PTG 2008*. *Roczniki Gleboznawcze–Soil Science Annual*, 60(2), 5–16.
- Puentes R., Wilding L.P., Drees L.R. 1992. Microspatial variability and sampling concepts in soil porosity studies of Vertisols. *Geoderma*, 53, 373–385.

- Rabot E., Wiesmeier M., Schlüter S., Vogel H.-J. 2018. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. *Geoderma*, 314, 122–137.
- Ringrose-Voase A.J., Bullock P. 1984. The automatic recognition and measurement of soil pore types by image analysis and computer programs. *Journal of Soil Science*, 35, 673–684.
- Russ J.C., Dehoff R.T. 2000. "Practical Stereology", 2nd ed. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Rzasa S., Owczarzak W. 1992. Porosity limits of Polish soils. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 398, 139–144.
- Rzasa S., Owczarzak W. 2004. *Struktura gleb mineralnych*. Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, Poznań, 394 strony.
- Sakai N., Yonekawa S., Matsuzaki A., Morishima H. 1996. Two-dimensional image analysis of the shape of rice and its application to separating varieties. *Journal of Food Engineering*, 27, 397–407.
- Schwen A., Bodner G., Loiskandl W. 2011a. Time-variable soil hydraulic properties in near-surface soil water simulations for different tillage methods. *Agricultural Water Management*, 99, 42–50.
- Schwen A., Bodner G., Scholl P., Buchan G.D., Loiskandl W. 2011b. Temporal dynamics of soil hydraulic properties and the water-conducting porosity under different tillage. *Soil and Tillage Research*, 113, 89–98.
- Siczek A., Horn R., Lipiec J., Usowicz B., Łukowski M. 2015. Effects of soil deformation and surface mulching on soil physical properties and soybean response related to weather conditions. *Soil and Tillage Research*, 153, 175–184.
- Skvortsova E.B., Morozov D.R. 1993. Micromorphometric classification and diagnostics of the soil porous space structure. *Pochvovedenie*, 6, 49–56.
- Skvortsova E.B., Sanzharova S.I. 2007. Micromorphometric features of pore space in the plow horizons of loamy soils. *Eurasian Soil Science*, 40, 445–455.
- Skvortsova E.B., Utkaeva V.F. 2008. Soil pore space arrangement as a geometric indicator of soil structure. *Eurasian Soil Science*, 41, 1198–1204.
- Vermang J., Demeyer V., Cornelis W.M., Gabriels D. 2009. Aggregate stability and erosion response to antecedent water content of a loess soil. *Soil Science Society of America Journal*, 73, 718–726.
- Vogel H.J. 1997. Morphological determination of pore connectivity as a function of pore size using serial sections. *European Journal of Soil Science*, 48, 365–377.
- Wang E., Cruse R.M., Chen X., Daigh A. 2012. Effects of moisture condition and freeze/thaw cycles on surface soil aggregate size distribution and stability. *Canadian Journal of Soil Science*, 92, 529–536.
- Weibel E.R. 1980. *Stereological Methods, Vol. 2. Theoretical Foundations*, Academic Press, London.
- Wojnar L., Kurzydłowski K.J., Szala J. 2002. „Praktyka analizy obrazu”. Polskie Towarzystwo Stereologiczne, Kraków.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Moje pierwsze publikacje naukowe powstały w związku z realizowaniem przeze mnie pracy magisterskiej pod kierunkiem prof. dr. hab. Emila Chibowskiego, na Wydziale Chemii Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie. Dotyczyły one badania stabilności układów zdyspergowanych w obecności wybranych substancji stabilizujących (II.A.1, II.D2.1). Temat ten podjęłam też po uzyskaniu stopnia doktora (II.A.3), współpracując z dr. hab. Pawłem Brykiem z Zakładu Modelowania Procesów Fizykochemicznych na Wydziale Chemii UMCS w Lublinie. Po podjęciu pracy na stanowisku asystenta w Akademii Rolniczej w Lublinie (aktualna nazwa: Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie), w Instytucie Gleboznawstwa, Inżynierii i Kształtowania Środowiska, głównym obszarem moich zainteresowań naukowo-badawczych stała się struktura i właściwości fizyczne gleby. W ramach swojej pracy kontynuowałam prowadzone w Instytucie badania dotyczące struktury gleby, rozwijając jednocześnie metody analizy i opisu struktury gleby z wykorzystaniem komputerowej analizy obrazu.

Moje badania koncentrowały się wokół następujących zagadnień:

- A. Struktura gleby – zagadnienia metodyczne
- B. Morfologiczna i morfometryczna analiza struktury gleby
- C. Właściwości wodno-powietrzne gleby
- D. Fizyczna degradacja gleb

5A. Struktura gleby – zagadnienia metodyczne

Utrwalone żywicą preparaty glebowe, prezentujące nienaruszoną strukturę gleby, umożliwiają bezpośrednią ocenę elementów strukturalnych gleby: fazy stałej i wolnych przestrzeni. W swojej pracy wykorzystywałam nieprzezroczyste szlify glebowe (zglądy) o wymiarach $8 \times 9 \times 1$ cm, uzyskane z próbek gleby o zachowanej budowie. Analizie podlegały zdjęcia oszlifowanych powierzchni zglądów, które wykonywałam przy pomocy kamery lub skanera połączonych z komputerem. Uzyskane obrazy barwne lub w odcieniach szarości wymagały przygotowania do pomiarów. Należało ponadto znaleźć liczbowe wskaźniki, które umożliwiłyby przejście z opisu słownego struktury gleby na charakterystykę ilościową. Wywołało to potrzebę podjęcia badań metodycznych, które prowadziłam zarówno przed (II.D1.3, 4; II.D4.1), jak i po uzyskaniu stopnia doktora (II.D1.9, 13, 19).

Analizowałam przydatność wybranych parametrów morfometrycznych do ilościowej charakterystyki porównawczej gleb o zróżnicowanej strukturze. Do oceny gleby płowej o strukturze agregatowej oraz masywnej lub mieszanej (koherentno-okruchowo-porowatej) wybrałam współczynnik wypukłości, wskaźnik wydłużenia oraz ukierunkowanie głównej osi przekroju poru lub agregatu (II.D4.1) oraz liczebności elementów strukturalnych gleby, wydłużenie oraz ich rozkład według średnicy ekwiwalentnej (II.D1.4). Pogłębiane badania metodyczne w tym zakresie kontynuowałam po uzyskaniu stopnia doktora. Dokonałam oceny przydatności wskaźników kształtu do klasyfikacji typów struktur gleby, biorąc pod uwagę główne grupy makroporów: spękania i wydrążenia (II.D1.9). Najpierw dla badanych gleb przeprowadziłam analizę morfologiczną, wyróżniając wśród nich gleby o strukturze spękanej, mieszanej i wydrążeniowej. Do ilościowej oceny kształtu makroporów wykorzystywałam uśrednione dla zglądów parametry: CIR_{av} – wskaźnik okrągłości, ELG_{av} – wskaźnik wydłużenia oraz ich współczynniki zmienności, $V(CIR)$ i $V(ELG)$. Stwierdziłam, że dla struktur spękanych CIR_{av} i $V(ELG)$ były istotnie statystycznie mniejsze a ELG_{av} i $V(CIR)$ – większe niż dla pozostałych typów struktur. Analiza morfometryczna wykazała, że wybrane wskaźniki stosowane łącznie pozwalają odróżnić grupę struktur spękanych od mieszanych i wydrążeniowych. W pracy II.D1.19 badałam przydatność parametrów morfometrycznych do opisu sekwencji struktur od masywnej (zwartej) i porowatej do agregatowej – okruchowej, obrazującej hipotetyczne tworzenie się jednorodnej struktury agregatowej. Dla przekrojów makroporów zmierzyłam: A_A , L_A , N_A , A_N , λ_P i λ_S . Zmiany struktury gleby, polegające na wzroście rozdrobnienia fazy stałej i rozwijaniu się sieci porów przy przejściu od struktury masywnej do agregatowej, wywoływały zmiany mierzonych parametrów morfometrycznych. Najwyraźniej zmieniały się

wartości A_A , L_A i λ_S , a różnice zaobserwowane między badanymi stanami struktury gleby zostały potwierdzone statystycznie.

Parametry morfometryczne uzyskane za pomocą analizy obrazu pokazały różnice między badanymi glebami, a otrzymane wyniki ilościowe były zgodne z wynikami analizy morfologicznej. Ponadto, w ramach omawianych badań, udoskonalona została procedura przetwarzania obrazów w odcieniach szarości na obrazy binarne, wymagane do pomiarów. Przeprowadzone badania (II.D4.1; II.D1.4, 9, 19) wykazały, że wybrane przez mnie parametry morfometryczne mogą znaleźć zastosowanie do badań porównawczych i oceny zmian struktury pod wpływem różnorodnych czynników zewnętrznych.

Wskaźniki struktury gleby wyznaczone na obrazach struktury można zestawiać z wynikami laboratoryjnych pomiarów cech powiązanych ze strukturą gleby. Dlatego interesujące było, czy istnieje różnica między makroporowatością uzyskaną z analizy obrazu a porowatością wyznaczoną metodami laboratoryjnymi. W celu zweryfikowania tej hipotezy badawczej przeprowadzono badania na modelach struktur agregatowych wykonanych z wydzielonych na sitach agregatów pozyskanych z 4 gleb (II.D1.3). Stwierdzono, w warunkach kontrolowanej struktury gleby, że makroporowatość wyznaczona na obrazach struktury istotnie statystycznie koreluje z porowatością ogólną i połową pojemnością powietrzną. Makroporowatość wyznaczona komputerowo różniła się jednak od połowej pojemności powietrznej. Wynikało to z odmienności obu technik badawczych, które pozwalały na pomiar nieco innych grup porów. Te podstawowe badania dostarczyły cennych informacji ułatwiających interpretację wyników morfometrycznych, bazujących na obrazach struktury.

Mając na uwadze bardzo istotne znaczenie procesu binaryzacji – niezbędnego etapu w procesie przygotowywania obrazów struktury do pomiarów, określiłam wrażliwość wybranych parametrów morfometrycznych na zmiany progu binaryzacji (II.D1.13). Dla próbek reprezentujących strukturę gąbczastą, okrucową, porowatą i szczelinową wyznaczyłam parametry makroporów: makroporowatość A_A , liczebność względną N_A i długość względną L_A w całym zakresie możliwych progów binaryzacji i . Aby ocenić zmienność parametrów morfometrycznych w funkcji wartości progu binaryzacji, wyznaczyłam ilorazy różnicowe badanych parametrów morfometrycznych: $\Delta A_A/\Delta i$, $\Delta N_A/\Delta i$ i $\Delta L_A/\Delta i$. Testy statystyczne wykazały, że zmienność parametrów morfometrycznych była różna, zależała ponadto od typu struktury gleby oraz jej makroporowatości. Największe rozproszenie ilorazów różnicowych stwierdzono dla N_A , który skokowo zmieniał się przy stopniowej zmianie progu binaryzacji, a najmniejsze – dla A_A . Badania dowiodły znaczenia prawidłowego doboru progu binaryzacji, szczególnie dla próbek o niskiej porowatości. Przeprowadzone badania wskazały ponadto na potrzebę poszukiwania takich parametrów makrostruktury, dla których binaryzacja nie byłaby konieczna.

5B. Morfologiczna i morfometryczna analiza struktury gleby

Ten obszar tematyczny moich badań dotyczył morfologicznej (opis słowny i interpretacja) oraz morfometrycznej (opis ilościowy) charakterystyki struktury gleby, poddawanej działaniu

zróżnicowanych czynników zewnętrznych. Badania w tym zakresie prowadziłam przed (II.D1.1, 2, 7; II.D4.2) oraz po uzyskaniu stopnia doktora (II.A.4, 6; II.D1.8, 10, 11, 12, 14, 23; II.D4.5). Jak wspomniano wcześniej, struktura gleby jest jednym z podstawowych parametrów decydujących o stanie fizycznym gleby. Kształtując stan fizyczny gleby, struktura bardzo mocno oddziałuje także na charakter i tempo procesów chemicznych w glebie. Dlatego podjęłam wielokierunkowe badania struktury gleby, analizując jej zmienność pod wpływem różnorodnych czynników zewnętrznych oraz identyfikując procesy odpowiedzialne za jej kształtowanie.

Wraz ze współpracownikami dokonałam morfologicznej charakterystyki agregatów glebowych w glebach uprawnych, leśnych i ogrodowych wytworzonych z pyłów (II.D1.1). Powiększone obrazy agregatów widocznych na obrazach struktury wykazały różnice w charakterze powierzchni agregatów typu okruchów i bryłek. Badania morfologiczne potwierdziły bardzo ważną rolę czynnika biologicznego w procesie kształtowania struktury gleby.

Kolejne badania morfologiczne (II.D1.2, 7) podjęto, aby ocenić możliwość wykorzystania komunalnych osadów ściekowych w formie płynnej i mazistej do regeneracji struktury materiału zalegającego na wypełnionym i poddanym rekultywacji składowisku wapna poflotacyjnego. Badania prowadzono we współpracy z Przedsiębiorstwem Rekultywacji Terenów Górniczych „Jeziorko”. Stwierdzono, że zastosowana forma mazista osadu ściekowego i sposób jego rozprowadzania nie sprzyjały szybkiemu tworzeniu w rekultywowanym materiale korzystnej struktury agregatowej (II.D1.2). Analiza morfologiczna nie wykazała także obecności dobrze wykształconych agregatów przy zastosowaniu osadu w formie płynnej (II.D1.7; II.D4.2). Można przypuszczać, że dopiero wprowadzenie większych dawek osadu (> 60 ton suchej masy na ha) mogłoby wywołać wyraźniejsze i pozytywne, z przyrodniczego punktu widzenia, zmiany struktury gleby, m.in. wytworzenie struktury agregatowej i zwiększenie porowatości. Wyniki badań wskazały potencjalne problemy, jakie mogą się pojawiać podczas odtwarzania zniszczonej naturalnej pokrywy glebowej, w tym – najcenniejszej warstwy próchnicznej.

We współpracy z pracownikami Katedry Gleboznawstwa i Rekultywacji Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, dr. hab. inż. K. Otrembą i prof. dr hab. inż. M. Gilewską, sprawdzałam także wpływ różnych sposobów rekultywacji rolniczej na strukturę gleby zdegradowanej działalnością górniczą (II.A.6). Badania prowadzono na 5 obiektach: czarnym ugorze, poletkach pod monokulturą pszenicy bez i z dodatkiem pyłu węgla brunatnego, poletku pod monokulturą lucerny z kupkówką i poletku pod sukcesją spontaniczną z udziałem lucerny i kupkówki. Analiza morfologiczna wykazała, że omawiane gleby, ze względu na lekki skład granulometryczny, charakteryzowały się strukturą nieagregatową. Gleba poletek utrzymywanych w czarnym ugorze i pod monokulturą pszenicy wykazywała objawy mieszania materiału glebowego podczas zabiegów agrotechnicznych, ale brak było agregatów. Głównym czynnikiem stymulującym rozluźnianie gleby była roślinność o rozwiniętym systemie korzeniowym, której działanie przyczyniło się do tworzenia, a następnie stabilizowania biogennych porów i agregatów, co zaobserwowano na zglądach z poletek z lucerną. Badania wykazały, że sukce-

sja spontaniczna, zapewniająca największą różnorodność typologiczną roślinności, w największym stopniu przyczyniła się do uzyskania oczekiwanego stanu fizycznego i struktury gleby.

Morfologiczna analiza struktury pozwoliła także zbadać i ocenić zmiany makrostruktury ugniatanych gleb o zróżnicowanej typologii i składzie granulometrycznym, poddawanych w laboratorium procesom zamrażania i rozmarzania w różnych stanach uwilgotnienia (II.D1.8). Najwyraźniejsze zmiany struktury pod wpływem mrożenia-rozmarzania odnotowano dla gleby gliniastej, w której zaobserwowano tworzenie się struktury agregatowej. W glebie ilastej o początkowej strukturze agregatowej nastąpiła reorganizacja materiału glebowego bez wyraźnej zmiany typu makrostruktury. Gleba pyłowa reagowała na mrożenie najsilniej, gdy przed mrożeniem miała wysoką wilgotność. Wyniki badań mogą wskazać sposoby prawidłowego przygotowania warstwy ornej przed zimą, które umożliwią optymalne wykorzystanie naturalnych procesów mrozowych do wytworzenia w glebie korzystnej struktury agregatowej.

Prowadzone przeze mnie badania miały także na celu wyjaśnienie i ocenę wpływu zabiegów agrotechnicznych na strukturę gleby za pomocą analizy morfologicznej i morfometrycznej (II.A.4; II.D1.10, 11, 12, 14, 23). Badania opisane w pracach II.D1.10, 11, 12, 14 dotyczyły struktury wierzchniej warstwy gleby płowej, na której uprawiano cebulę zwyczajną. Próbkę pobrano w 19 terminach w trakcie sezonu wegetacyjnego, po każdym zabiegu agrotechnicznym oraz po opadach deszczu. Wyznaczono makroporowatość A_A , liczebność przekrojów porów N i średni rozmiar przekrojów makroporów λ_P (II.D1.10). Stwierdzono, że makroporowatość zmieniała się dynamicznie w trakcie sezonu wegetacyjnego. Podwyższały ją zabiegi spulchniające: bronowanie, spulchnianie opielaczem, gracowanie, a obniżały: opady deszczu, ugniatanie kołami maszyn rolniczych w trakcie prac polowych, wałowanie. Zbliżone tendencje odnotowano dla parametru λ_P . Liczebność przekrojów makroporów była słabiej, niż pozostałe 2 parametry, związana z oddziałującymi na glebę czynnikami zewnętrznymi. Określono następnie wskaźnik wydłużenia przekrojów porów, ELG o minimalnym rozmiarze $0,179 \text{ mm}^2$ (II.D1.11). Wykryte na obrazach przekroje makroporów podzielono na jego podstawie na koliste, eliptyczne i wydłużone. W każdym z analizowanych stanów gleby w trakcie sezonu wegetacyjnego, bez względu na charakter działającego czynnika zewnętrznego, dominowały pory wydłużone, stanowiąc ponad 60%, a udział obiektów kolistych był znikomy, poniżej 2,5%. W trakcie sezonu wegetacyjnego następowała reorganizacja struktury, co uwidaczniało się w potwierdzonej statystycznie zmianie zarówno całkowitej liczebności makroporów $> 0,179 \text{ mm}^2$, jak i liczebności w wyróżnionych 3 klasach kształtu. Przeprowadzona analiza kształtu umożliwiła w kolejnym etapie badań wykonanie oceny ukierunkowania przekrojów porów (II.D1.12, 14). Zbadano ułożenie głównej osi eliptycznych i wydłużonych przekrojów porów. Przeprowadzone pomiary pozwoliły wyznaczyć i statystycznie ocenić róże kierunków dla kolejnych stanów gleby. Stosowane zabiegi agrotechniczne prowadziły do zhomogenizowania materiału glebowego, o czym świadczyła na ogół przypadkowa orientacja – równomierny rozkład – przekrojów porów. Zaobserwowana w niektó-

rych stanach gleby anizotropia – rozkład kołowo-normalny – była przede wszystkim skutkiem ugniecenia i działania intensywnych lub długotrwałych opadów deszczu. Badania (II.D1.10, 11, 12, 14) pokazały, że struktura powierzchniowej warstwy badanej gleby płowej wytworzonej z utworu pyłowego charakteryzowała się małą stabilnością i dużą podatnością na zagęszczające działanie deszczu i kół pojazdów rolniczych.

Kolejne badania (II.D1.23) miały na celu sprawdzenie hipotezy, że pług, pługofrezarka i brona aktywna w odmienny sposób modyfikują strukturę ornej warstwy rędziny. Aby zwerfikować tę hipotezę, wyznaczyłam całkowite i różniczkowe rozkłady wielkości makroporów i elementów fazy stałej oraz parametry morfometryczne: makroporowatość A_A , liczebność względną N_{A-P} , N_{A-S} , i bezwzględną N_P , N_S , oraz średnią ważoną średnicę przekrojów porów i elementów fazy stałej, MWD_P i MWD_S . Analiza obrazu umożliwiła uzyskanie rozkładów wielkości makroporów i elementów fazy stałej gleby o znacznej rozdzielczości – 557 klas rozmiarów co 0,127 mm. Dzięki temu szczegółowo opisano zmiany struktury rędziny pod wpływem różnych narzędzi uprawowych. Stwierdziłam, że liczebność przekrojów porów i elementów fazy stałej była najmniejsza po uprawie płużnej, a największa – po działaniu bronny aktywnej. Gleba po uprawie broną aktywną charakteryzowała się najmniejszym średnim rozmiarem przekroju poru i największym średnim rozmiarem przekroju agregatu. Odwrotną sytuację zaobserwowano dla gleby poddanej działaniu pługofrezarki, a pośrednie wartości zanotowano dla gleby uprawianej pługiem. Odmiennie efekty działania trzech narzędzi uprawowych uwidoczniły się także na całkowitych i różniczkowych rozkładach wielkości przekrojów porów i elementów fazy stałej gleby. Przebiegi uzyskanych krzywych pozwoliły ponadto ocenić stopień połączenia ze sobą porów oraz stopień wykształcenia agregatów glebowych.

Wraz ze współpracownikami podjęłam także wyjaśnienie wpływu wieloletniego nawożenia organicznego na strukturę czarnoziem ukrainieckiego (II.A.4). Badania te prowadziłam w ramach współpracy naukowej z prof. V.V. Medvedevem z Narodowego Centrum Naukowego „Instytut Gleboznawstwa i Agrochemii im. O.N. Sokolovsky’ego” w Charkowie na Ukrainie. Celem badań było określenie stanu struktury czarnoziem ukrainieckiego wytworzonego z lessu w dwóch wariantach uprawy: (I) przez 78 lat nawożonego obornikiem, (II) bez nawożenia organicznego. Obrazy makrostruktury i ich powiększenia pozwoliły zidentyfikować i zinterpretować charakterystyczne cechy struktury omawianej gleby. Przeprowadzając analizę morfologiczną stwierdzono, że wierzchnia warstwa czarnoziem nawożonego obornikiem charakteryzowała się strukturą agregatową, a analogiczna warstwa czarnoziem bez nawożenia organicznego była znacznie bardziej zagęszczona i zwarta. Na głębokości poniżej 30 cm oba pedony miały bardzo podobną strukturę, a poniżej 40 cm widoczne były liczne efekty aktywności fauny glebowej – kretowiny, koprolity i bioturbacje. Badania pokazały, że odpowiedni płodozmian (brak monokultury) oraz regularne dostarczanie materii organicznej pozwalają na zachowanie korzystnej struktury agregatowej uprawnego czarnoziem.

W latach 2010–2012 byłam wykonawcą w projekcie badawczym pt. „Opracowanie albumu makrostruktury gleb ekosystemów naturalnych i antropogenicznych”. Efektem reali-

zacji tego projektu jest monografia przygotowana w języku polskim i angielskim pt. „Makrostruktura gleb Polski – Macrostructure of soils in Poland” (II.D4.5), której jestem współautorką. W ramach realizacji projektu badawczego i przygotowywania monografii, uczestniczyłam w wyborze zglądów glebowych, tworzeniu koncepcji układu monografii i opracowaniu rozdziału „I. Wprowadzenie”, w tym opracowaniu terminologii do opisu makrostruktury gleby. Przygotowałam 50% zdjęć barwnych i obrazów binarnych pokazanych w monografii. Opisałam ponadto lokalizację i makrostrukturę gleb w rozdziałach: 7. Gleby poddane działaniu narzędzi i maszyn rolniczych; 10. Gleby poddane ugniataniu; 11. Gleba z korzeniami roślin; 12. Modele agregatowych struktur glebowych. Współpracowałam przy tworzeniu rozdziałów: 5. Gleby łąkowe; 8. Gleby uprawiane w różnych systemach; 13. Podłoża ogrodnicze. Dokonałam także opracowania redakcyjnego wersji angielskiej całej monografii.

W książce przedstawiono strukturę gleb zróżnicowanych typologicznie, rodzajowo i gatunkowo, a także pod względem sposobu użytkowania i stopnia antropogenizacji. Łącznie 239 zglądów reprezentuje gleby z ekosystemów leśnych, gleby użytkowane rolniczo, gleby ogrodowe, gleby zrekultywowane po zdewastowaniu spowodowanym działalnością górniczą i podłoża ogrodnicze oraz modele agregatowych struktur glebowych. Książka opatrzona jest wstępem opisującym materiał badawczy i metody badań. Za jedną z najważniejszych uważam część poświęconą morfograficznemu i morfologicznemu opisowi struktury gleby (str. 16–19 i 27–30). Rozdział ten porządkuje i wprowadza terminologię dotyczącą opisu struktury gleby dostosowaną do charakterystyki makrostruktury. Biorąc pod uwagę zakres materiału i sposób jego prezentacji, można stwierdzić, że książka ta jest nowatorskim opracowaniem nie tylko w polskiej literaturze gleboznawczej, ale nawet w literaturze światowej. Książka stanowi materiał poznawczy dla gleboznawców, geografów, specjalistów z zakresu uprawy roli i rekultywacji gleb, a także nauk ogrodniczych związanych z badaniami podłoża. W przypadku osób niezwiązanych ściśle z naukami o glebie, może być ważnym źródłem informacji, ukazując ogromną różnorodność środowiska glebowego i zagrożenia, jakim podlega gleba w warunkach intensywnej antropopresji.

Zgodnie z przyjętym założeniem, druk monografii został sfinansowany ze środków projektu, aby umożliwić jej bezpłatne rozpowszechnianie. Pozwoliło to pokazać część unikalnej kolekcji zglądów, należącej do Instytutu Gleboznawstwa, Inżynierii i Kształtowania Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie i liczącej obecnie ponad 5000 egzemplarzy, szerokiemu gronu odbiorców. Egzemplarze książki zostały przekazane bibliotekom polskich uczelni i ośrodków naukowych (m.in. UKW Bydgoszcz, UTP Bydgoszcz, UR Kraków, UMCS, IA PAN Lublin, PL Lublin, UWM Olsztyn, UP Poznań, IUNG Puławy, Uniwersytet Rzeszowski, ZUT Szczecin, UMK Toruń, SGGW, IOŚ-PIB, Politechnika Warszawska, UP Wrocław) oraz wysłane do wiodących zagranicznych ośrodków naukowych i gleboznawców (m.in. prof. W.E.H. Blum, prof. W.C. Fonteno, prof. A. Hartemink, prof. R. Horn, prof. A. McBratney, prof. V.V. Medvedev, prof. N. Rampazzo, prof. C. Ritsema, prof. G. Stoops).

5C. Właściwości wodno-powietrzne gleby

Ten obszar tematyczny moich badań dotyczył charakterystyki i oceny właściwości wodnych i powietrznych gleb, poddawanych działaniu zróżnicowanych czynników zewnętrznych. Badania w tym zakresie prowadziłam przed (II.D1.5, 6, 7; II.D4.2) oraz po uzyskaniu stopnia doktora (II.A.2, 5, 6; II.D1.15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 24, 25; II.D4.3, 4).

W umiarkowanej strefie klimatycznej, w której leży Polska, istnieje naturalny, niewymagający nakładów ekonomicznych, proces wpływający na poprawę struktury gleby, a zatem wywołujący również zmiany jej właściwości wodnych i powietrznych. Jest on związany z występowaniem ujemnych temperatur w porze zimowej. Podjęto dlatego badania (II.D1.5, 17, 18), mające na celu wyjaśnienie, w jaki sposób pod wpływem procesów mrozowych zmieniają się właściwości powietrzne i wodne gleb. Badania te uzupełniały prowadzoną wcześniej dla analogicznych gleb ocenę struktury (II.D1.8). Określano wpływ procesów mrozowych, w zależności od stanu gleby (stan naturalny, gleba silnie zagęszczana, gleba bardzo silnie zagęszczana) oraz liczby cykli działania niskich temperatur, na wybrane właściwości fizyczne zróżnicowanych typologicznie gleb. Badane gleby ugniatano w laboratorium za pomocą aparatu trójosiowego, uzyskując wymagane poziomy zagęszczenia. Następnie stabilizowano wilgotność próbek gleby w komorach ciśnieniowych do wartości odpowiadającej wilgotności gleby naturalnej w momencie pobierania próbek. W kolejnym kroku prowadzono w komorze chłodniczej 1- i 3-krotne mrożenie gleby zagęszczanej i ze stanu naturalnego, a część próbek pozostawiono bez mrożenia (kontrola). Badania prowadzono na 3 glebach, o uziarnieniu pyłu, łu i gliny. Wyznaczono następujące parametry fizyczne: retencję wody grawitacyjnej, użytecznej i niedostępnej dla roślin; połowę pojemność powietrzną; połowę przepuszczalność powietrzną; porowatość ogólną i dyferencjalną (objętość makro-, mezo- i mikroporów). Stwierdzono, że w stanie naturalnym procesy mrozowe ujawniły największy wpływ na właściwości gleby pyłowej, powodując wzrost wartości pełnej pojemności wodnej, połowej pojemności wodnej, retencji wody użytecznej i niedostępnej (II.D1.5). Mrożenie wywołało zmiany porowatości dyferencjalnej nieugniatanej i ugniatanej gleby pyłowej, przy czym najwyraźniej zmieniała się objętość mezoporów. Połowa przepuszczalność powietrzna wzrosła jedynie w glebie silnie ugniatanej 1-krotnie mrożonej. Gleba pyłowa ze stanu naturalnego i gleba silnie ugniatana, łatwiej niż gleba bardzo silnie ugniatana, poddawały się działaniu mrozu (II.D1.18). W stanie bardzo silnie zagęszczonym najbardziej podatna na działanie mrozu okazała się gleba gliniasta. Mrożenie wywołało różnokierunkowe zmiany wartości połowej pojemności wodnej, retencji wody grawitacyjnej i użytecznej (II.D1.5). Mrożenie wywołało również reorganizację porów glebowych, widoczną jako zmianę porowatości dyferencjalnej, a efekty mrożenia były zróżnicowane w zależności od zagęszczenia gleby. Pojemność powietrzna gleby nieugniatanej i ugniatanej nie ulegała zmianom pod wpływem mrożenia. Najsilniejszy wzrost przepuszczalności powietrznej, a zatem największą poprawę drożności porów, zanotowano dla 3-krotnie mrożonej, silnie ugniatanej gleby (II.D1.17). Najsilniejszą reakcją na zagęszczanie wykazała gleba ilasta. Do zjawisk szczególnie niekorzystnych należy zaliczyć znaczące obniżenie wartości retencji wody użytecznej pod wpływem bardzo

silnego zagęszczenia. 3-krotne mrożenie gleby w stanie naturalnym spowodowało wzrost pełnej pojemności wodnej. Właściwości wodne gleby ilastej bardzo silnie ugniatanej nie zmieniały się pod wpływem mrożenia (II.D1.5). Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, że zarówno pojawienie się zmian właściwości fizycznych wywołanych przez procesy mrozowe, jak i kierunek zmian, są zróżnicowane w zależności od gleby, stopnia jej zagęszczenia i intensywności działania niskich temperatur. Z przeprowadzonych badań wynika poza tym, że odtworzenie struktury gleby, zapewniającej korzystne dla roślin warunki wodno-powietrzne, w trakcie zimowych cykli mrożenia-rozmarzania, może nie być możliwe, jeżeli gleba jest bardzo silnie zagęszczona i charakteryzuje się drobnym uziarnieniem (pył ilasty, il pylasty).

Jednym z zalecanych do stosowania w praktyce sposobów redukcji nadmiaru biogenów i związków organicznych z wód ściekowych, pozostających po I i II stopniu oczyszczania ścieków komunalnych, jest ich dalsze oczyszczanie w środowisku glebowym. Poznanie właściwości filtracyjnych gleby wykorzystywanej w ten sposób jest niezwykle ważne, ponieważ przepuszczalność wodna i powietrzna charakteryzują zdolności danej gleby do transportu wewnętrznego, regulującego stosunki wodno-powietrzne gleby. Ponadto długotrwałe nawadnianie gleby wodami ściekowymi powoduje zmiany jej właściwości fizycznych i chemicznych. Zmiany te mogą mieć charakter zarówno pozytywny, jak i negatywny. Dlatego na obiekcie zlokalizowanym na glebach torfowo-murszowych i mineralno-murszowych, na którym prowadzone było doświadczenie dotyczące opracowania zintegrowanego oczyszczania ścieków miejskich połączonego z nawadnianiem upraw przemysłowych, podjęto badania, mające na celu wyjaśnienie wpływu tych zabiegów na wybrane właściwości wodno-powietrzne gleby (II.D1.6, 15, 16). Przed rozpoczęciem doświadczenia badany obszar był użytkowany ekstensywnie jako łąka. Próbkę pobierano w 3 terminach: (1) przed rozpoczęciem prac niwelacyjno-melioracyjnych; (2) po wykonaniu prac inżynierskich; (3) po wprowadzeniu roślin do uprawy i wykonaniu pierwszych siedmiu nawodnień. Oznaczono: gęstość gleby, wilgotność aktualną, przepuszczalność powietrzną przy wilgotności aktualnej, przepuszczalność wodną gleby w stanie nasycenia (II.D1.6) i retencję wody produkcyjnej (II.D1.15, 16). Przestrzenną korelację analizowanych cech określono za pomocą geostatystycznej metody kriging, tworząc mapy przestrzennego rozkładu mierzonych właściwości fizycznych. Stwierdzono, że w stanie naturalnym, przed wykonaniem prac inżynierskich, gęstość, przepuszczalność wodna i powietrzna gleby, przyjmowały wartości typowe dla gleb torfowo-murszowych i mineralno-murszowych. Intensywne prace niwelacyjno-melioracyjne spowodowały pogorszenie właściwości filtracyjnych. Po wprowadzeniu roślin do uprawy i rozpoczęciu nawadniania wodami ściekowymi zaszły dalsze, różnokierunkowe zmiany, jednak już o znacznie mniejszym nasileniu. Zmiany tworzywa glebowego i prowadzone nawodnienia miały niewielki wpływ na wilgotność aktualną i stan zagęszczenia materiału glebowego (II.D1.6). Badane gleby hydrogeniczne wykazały się ponadto wysoką odpornością na zmiany wartości retencji wody produkcyjnej pod wpływem prowadzonych prac inżyniersko-melioracyjnych, nasadzeń i nawodnień, ingerujących w naturalny układ fizyczny gleby (II.D1.15, 16). Z drugiej strony, zaobserwowane zmiany właściwości filtracyjnych badanych gleb wykazy-

wały ich silne uzależnienie od antropogenicznej ingerencji, a zarazem małą na nią odporność. Zmiany właściwości filtracyjnych związane z przebudową naturalnej struktury gleby okazały się przy tym niewspółmiernie duże w porównaniu do znikomych zmian gęstości i wilgotności aktualnej. Otrzymane wyniki mogą świadczyć o stanie zagrażającym upośledzeniem procesu transportu gazów w glebie (II.D1.6). Wyniki przeprowadzonych badań mogą być wskazówką dla praktyki rolniczej, stosującej zabiegi agrotechniczne na glebach hydrogenicznych.

Gleba jest podstawowym elementem środowiska przyrodniczego, a jej właściwości, kształtowane pod wpływem działania procesu glebotwórczego, znajdują się w stanie równowagi dynamicznej. Naruszenie tej równowagi pociąga za sobą najczęściej negatywne skutki. Jednym z wielu przejawów deformacji środowiska jest pogłębiający się proces dewastacji gleb, powodowany między innymi przez górnictwo. Degradacja ta dotyczy nie tylko właściwości chemicznych, ale także fizycznych gleby, w tym jej struktury. Z tego powodu rekultywacja tak zmienionych terenów jest zadaniem złożonym i trudnym. Dlatego podjęto badania na terenach zdegradowanych: terenie po otworowej eksploatacji siarki (II.A.2; II.D1.7, 20; II.D4.2, 3, 4) i terenie po odkrywkowej kopalni węgla brunatnego (II.A.6; II.D1.24), mające na celu określenie wpływu działalności górniczej oraz prowadzonych po jej zakończeniu prac rekultywacyjnych na właściwości fizyczne powstałych na tych obszarach gleb antropogenicznych.

Oceniono właściwości powietrzne terenu po otworowej eksploatacji siarki przed rozpoczęciem rekultywacji. W tym celu wyznaczono: aktualną i połowę pojemność powietrzną (II.A.2; II.D4.3) oraz przepuszczalność powietrzną (II.A.2; II.D4.4). Uzyskane wartości dla gleby antropogenicznej porównano z obiektem kontrolnym, zlokalizowanym w lesie liściastym w pobliżu obszaru kopalni, ale poza zasięgiem jej oddziaływania (II.A.2). Wyniki połowej pojemności powietrznej świadczyły o tym, że przed rekultywacją gleba antropogeniczna badanego obszaru miała bardzo słabe i słabe właściwości powietrzne, niestwarzające korzystnego środowiska dla wzrostu i rozwoju roślin (II.A.2; II.D4.3). Gleba ta charakteryzowała się także bardzo zróżnicowanymi wartościami przepuszczalności powietrznej, zarówno w obrębie pola doświadczalnego, jak i w profilu. Sugerowało to obecność nieprzepuszczalnych warstewek pomiędzy strefami drożnymi dla powietrza, co utrudnia wymianę gazową (II.A.2; II.D4.4). Jednym z celów rekultywacji omawianego obszaru powinna być zatem modyfikacja struktury i pozostałych parametrów gleby, prowadząca do poprawy aeracji gleby. Należy także ujednoczyć strukturę górnej warstwy gleby, obejmującej strefę korzeniową, w celu usunięcia nieprzepuszczalnych warstw. W odróżnieniu od gleby antropogenicznej, gleba leśna o analogicznym uziarnieniu charakteryzowała się korzystnymi dla roślin właściwościami powietrznymi (II.A.2). Planowane zalesienie omawianego terenu przemysłowego w świetle naszych badań wydaje się zatem uzasadnione. Należy jednak najpierw odpowiednio przygotować podłoże, aby zapewnić wprowadzanym roślinom właściwe warunki wzrostu i rozwoju.

Na terenie po kopalni siarki, we współpracy z Przedsiębiorstwem Rekultywacji Terenów Górniczych „Jeziórko”, prowadzono także badania nad wykorzystaniem do rekultywacji osadów ściekowych w formie płynnej lub mazistej, wytworzonych w trakcie oczyszczania

ścieków komunalnych. Badany teren został najpierw wyrównany wapnem poftlotacyjnym. Następnie wydzielono 6 obiektów, na których stosowano zmienne dawki osadu ściekowego: 0 (kontrola) i 100–500 m³·ha⁻¹. Na obszarze objętym eksperymentem założono trwałe użytki zielone. Oznaczono następujące właściwości fizyczne: gęstość stałej fazy, gęstość gleby, porowatość ogólną (II.D1.7; II.D4.2) i wodoodporność elementów strukturalnych (II.D1.20). Stwierdzono stosunkowo wysokie wartości gęstości stałej fazy gleby, mimo stosowania płynnego osadu ściekowego zasobnego w substancję organiczną. Mogło to świadczyć o szybkiej mineralizacji osadu oraz wiązać się z obecnością w materiale glebowym wapna poftlotacyjnego. Gęstość gleby zawierała się w przedziale charakterystycznym dla gleby normalnie związanej i słabo zbitej, a zróżnicowane dawki substancji organicznej (osadu ściekowego w formie płynnej) nie obniżyły proporcjonalnie gęstości gleby. Uzyskane wyniki badań pozwoliły stwierdzić, że zastosowanie różnych dawek osadu w formie płynnej nie wywołało kierunkowych zmian wartości gęstości stałej fazy, gęstości i porowatości badanej gleby antropogenicznej (II.D1.7). Zastosowany osad ściekowy, szczególnie w formie płynnej, spowodował jednak istotne zmiany w rozkładzie zawartości wodoodpornych elementów strukturalnych, przy czym dawka osadu miała drugorzędne znaczenie. Wartości średniej ważonej średnicy elementów strukturalnych na poletkach, na których stosowano osad ściekowy w formie płynnej, były niemal dwukrotnie większe niż na analogicznych poletkach doświadczenia z osadem w formie mazistej. Osad w formie mazistej z powodów technicznych nie mógł być równomiernie rozproszony w podłożu. Poza tym wbudowywanie się osadu mazistego w wierzchnią warstwę gleby było trudniejsze, niż osadu w formie płynnej, dlatego pozytywny wpływ osadu w formie mazistej był słabszy. Polecane jest zatem stosowanie osadu w formie płynnej lub wydłużenie etapu mieszania osadu mazistego z glebą. Przedstawione badania dowiodły, że wprowadzenie osadu ściekowego do gleby antropogenicznej wywiera korzystny wpływ na wodoodporność elementów strukturalnych, zwiększając udział wielu cennych z przyrodniczego punktu widzenia frakcji agregatów (II.D1. 20).

Brałam również udział w badaniach dotyczących wpływu rekultywacji na stan fizyczny gleby zdegradowanej w wyniku odkrywkowego wydobycia węgla brunatnego. Prace prowadzono na obszarze zwałowiska wewnętrznego Pątnów koło Konina we współpracy z pracownikami Katedry Gleboznawstwa i Rekultywacji Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, dr. hab. inż. K. Otrembą i prof. dr hab. inż. M. Gilewską (II.A.6; II.D1.24). Analizując różne warianty rekultywacji rolniczej stwierdzono, że 30-letnia sukcesja spontaniczna z dominującym udziałem lucerny i traw znacznie bardziej niż czarny ugor (oba warianty z nawożeniem NPK) wzbogaciła glebę industrioziemną w węgiel organiczny, obniżyła jej gęstość i zwiększyła porowatość. Roślinność zmieniła typowy dla gleby piaszczystej rozkład wielkości porów, wywołując wzrost objętości mezoporów, co przełożyło się na większą zawartość wody dostępnej dla roślin. Gleba pod spontaniczną sukcesją wykazała ponadto wyższe wartości przepuszczalności wodnej i powietrznej. Rośliny o rozwiniętych systemach korzeniowych pozytywnie wpłynęły na stan fizyczny gleby, polepszając tym samym stabilność ekosystemu glebowego (II.D1.24). Gleby 5 obiektów (II.A.6): czarnego uguru, poletek pod monokulturą

pszenicy bez i z dodatkiem pyłu węgla brunatnego, poletka pod monokulturą lucerny z kupkówką i poletka pod sukcesją spontaniczną z udziałem lucerny i kupkówki (warianty bez nawożenia NPK) charakteryzowały się dużymi połowymi pojemnościami powietrznymi i zawartością wody dostępnej dla roślin. Gleby pod monokulturą pszenicy i monokulturą lucerny z kupkówką wykazywały niskie wartości przepuszczalności powietrznej. Wykazano, że najkorzystniej na stan fizyczny gleby wpłynęła sukcesja spontaniczna, ale także utrzymywanie czarnego ugoru. Wykonywane równoległe analiza morfologiczna oraz chemiczna pokazały jednak, że roślinność nie tylko generowała korzystny stan fizyczny gleby, ale sprzyjała również jego stabilizacji oraz wzbogacała glebę w węgiel organiczny. Podsumowując należy stwierdzić, że nasze badania udowodniły, że dobrze dobrana roślinność jest niezbędnym elementem procesów rekultywacji terenów zdegradowanych.

Jedną z najważniejszych funkcji gleby w cyrkulacji wody w biosferze jest zdolność gleby do wchłaniania wody z opadów i nawodnień oraz przekazywania jej sąsiadującym warstwom. Podjęłam dlatego badania, mające na celu określenie właściwości hydraulicznych gleby biellicowej (II.D1.21) i rdzawej (II.D1.22) w całym ich profilach. Dla zidentyfikowanych w glebach poziomów genetycznych, na podstawie uzyskanych w laboratorium pomiarów retencji i przewodnictwa wodnego w strefie nasycenia, stosując modele van Genuchtena i Mualema, wyznaczyłam krzywe retencji wody oraz przewodnictwo wodne w pełnym zakresie potencjału wody glebowej i wilgotności oraz obliczyłam wskaźnik jakości Dextera. Przewodnictwo wodne w strefie nasycenia poziomu organicznego gleby biellicowej było znacznie wyższe niż dla poziomów mineralnych. Jednocześnie poziom organiczny charakteryzował się najniższymi wartościami przewodnictwa wodnego w strefie nienasycenia. Przewodnictwo wodne mineralnych poziomów genetycznych wzrastało wraz ze spadkiem zawartości węgla organicznego, co należy tłumaczyć zatrzymywaniem pewnej ilości wody przez substancję organiczną (II.D1.21). W odróżnieniu od gleby biellicowej, przewodnictwo wodne gleby rdzawej w strefie nasycenia nie było istotnie zróżnicowane w profilu, a uzyskane wartości przewodnictwa świadczyły o dobrych właściwościach filtracyjnych tej gleby. Przy zmniejszaniu się wilgotności gleby przewodnictwo wodne drastycznie spadało, nieco wolniej w poziomach mineralnych, a szybciej w poziomie organicznym, podobnie jak w glebie biellicowej. Obliczony wskaźnik Dextera był wysoki, mimo że badana gleba rdzawa nie miała struktury agregatowej. Badania wskazały zatem, że wskaźnik Dextera powinien być dodatkowo przetestowany na dużej grupie utworów piaszczystych i organicznych (II.D1.22).

Brałam ponadto udział w badaniach dotyczących struktury i właściwości powietrznych poprodukcyjnej wełny mineralnej (II.A.5). Wykazano, że zmiany struktury i właściwości fizycznych wełny mineralnej podczas wykorzystywania jej w produkcji ogrodniczej są korzystne z punktu widzenia jej późniejszego zastosowania do rekultywacji gleb. Poprodukcyjna wełna mineralna charakteryzowała się wysokimi pojemnościami powietrznymi, co czyniło ją szczególnie korzystnym materiałem do rekultywacji gleb ciężkich lub silnie zagęszczonych (II.A.5). Badania dotyczące właściwości wodnych i powietrznych gleb parku miejskiego – Ogrodu Saskiego w Lublinie (II.D1.25) pozwoliły stwierdzić, że gleby parku miały korzystny

stan fizyczny, czemu sprzyjała zwłaszcza umiejętne pielęgnowanie i systematyczne wprowadzanie substancji organicznej. Brak węgla wapnia i zakwaszenie gleby nie wpłynęły negatywnie na jej stan fizyczny. W rejonach przemieszczania się pieszych po zadarnionym obszarze, na którym nie ma formalnych alejek, odnotowano jednak niskie wartości polowej pojemności powietrznej.

5D. Fizyczna degradacja gleb

Publikacje dotyczące fizycznej degradacji gleb (II.D3.1, 2) powstały w ramach współpracy naukowej z prof. V.V. Medvedevem z Narodowego Centrum Naukowego „Instytut Gleboznawstwa i Agrochemii im. O.N. Sokolovsky’ego” w Charkowie na Ukrainie. Przeprowadzone badania pozwoliły zidentyfikować i usystematyzować procesy towarzyszące fizycznej degradacji gleby. Stwierdzono, że były to: obniżenie zdolności gleby do tworzenia struktury agregatowej, powodujące zmniejszenie ilości cennych rolniczo agregatów; pogorszenie struktury, porowatości, stosunków wodno-powietrznych, wodoodporności i wytrzymałości mechanicznej agregatów; zaskorupianie, nadmierne zagęszczanie i konsolidacja głębszych warstw podczas uprawy. Głównym objawem degradacji fizycznej okazała się utrata zdolności gleby do przywracania jej struktury i gęstości charakterystycznych dla stanu naturalnego. Badania wykazały, że degradacja fizyczna gleby może być tymczasowa, ponieważ przy długotrwałym odłogowaniu gleba odzyskiwała właściwości fizyczne charakterystyczne dla stanu naturalnego. Skutecznym środkiem zapobiegającym degradacji fizycznej okazało się zminimalizowanie mechanicznego wpływu na glebę, przez redukcję nacisku maszyn uprawnych do wartości wytrzymałości mechanicznej cennych rolniczo agregatów glebowych. Aby przezwyciężyć fizyczną degradację gruntów ornych, w systemach uprawy należy wprowadzić zabiegi służące ochronie gleby, tj. odpowiednie zabiegi uprawowe, płodozmian i nawożenie.

Prowadzone przeze mnie badania, zarówno samodzielnie, jak i we współpracy z pracownikami Instytutu Gleboznawstwa, Inżynierii i Kształtowania Środowiska UP w Lublinie oraz pracownikami instytucji zewnętrznych (Przedsiębiorstwo Rekultywacji Terenów Górniczych „Jeziórko”; Katedra Gleboznawstwa i Rekultywacji UP w Poznaniu; Narodowe Centrum Naukowe „Instytut Gleboznawstwa i Agrochemii im. O.N. Sokolovsky’ego” w Charkowie na Ukrainie), pozwoliły mi zgłębić szereg zagadnień dotyczących struktury i właściwości fizycznych gleby. Badania metodyczne doprowadziły do przetestowania i wytypowania parametrów do ilościowej charakterystyki gleby oraz dostarczyły cennych informacji ułatwiających interpretację pomiarów bazujących na obrazach struktury. Efektem badań morfologicznych było zidentyfikowanie czynników odpowiedzialnych za obserwowany stan struktury gleby. Badania morfometryczne pozwoliły dodatkowo uzyskać liczbową charakterystykę struktury, co umożliwiło statystyczną weryfikację różnic widocznych na zdjęciach zglądów. Wiedzę o stanie fizycznym gleby poszerzyły badania właściwości wodno-powietrznych, w wielu przypadkach uzupełniając analizy morfologiczne i morfometryczne struktury gleby. W efekcie kompleksowo określono wpływ różnorodnych właściwości gleby, procesów

i czynników zewnętrznych (węgiel organiczny, biosfera, zabiegi agrotechniczne, procesy mrozowe, warunki pogodowe, prace niwelacyjno-melioracyjne, nawodnienia, działalność górnicza, zabiegi rekultywacyjne) na stan fizyczny gleb naturalnych, uprawnych i antropogenicznych, a także podłoży ogrodniczych.

6. Podsumowanie osiągnięć naukowo-badawczych, organizacyjnych, dydaktycznych i popularyzatorskich

Mój łączny dorobek naukowy obejmuje **68** pozycji (Tab. 1):

- 40 oryginalnych prac twórczych (31 po uzyskaniu stopnia naukowego doktora);
- 1 monografię naukową w języku polskim i angielskim (dwujęzyczną) po uzyskaniu stopnia naukowego doktora;
- 4 rozdziały w monografiach naukowych (2 po uzyskaniu stopnia naukowego doktora);
- 6 komunikatów naukowych na konferencje międzynarodowe (4 po uzyskaniu stopnia naukowego doktora) i 16 komunikatów na konferencje krajowe (12 po uzyskaniu stopnia naukowego doktora);
- 1 sprawozdanie merytoryczne z realizacji projektu badawczego (II.E.1^{*}) po uzyskaniu stopnia naukowego doktora.

Opublikowałam 20 prac samodzielnych, w 17 jestem pierwszym autorem i autorem korespondencyjnym, a w pozostałych 31 – drugim lub kolejnym autorem (Tab. 2).

Łączny IF moich prac według roku opublikowania wynosi **26,06**, a liczba punktów według wykazu MNiSW zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **451**.

Wśród opublikowanych prac 11 znajduje się na liście JCR, a 1 publikacja w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowej uwzględnionej w bazie Web of Science. Liczba cytowań tych prac bez autocytowań wynosi 30, przy średnim cytowaniu na pracę 3,17, a wartość indeksu Hirscha h według bazy Web of Science wynosi 4 (Ryc. 1).

Kierowałam 1 projektem badawczym i byłam wykonawcą w 3 projektach finansowanych przez MNiSW – KBN lub NCN (II.I). Byłam koordynatorem merytorycznym projektu współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój (III.A.2).

W latach 1997–1998 uczestniczyłam w stażach zagranicznych w ramach programu TEMPUS PANSED, współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej (III.A.1). Odbyłam także staż w Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie (III.L).

Za działalność naukową otrzymałam 2 nagrody indywidualne i 2 zespołowe (II.J), a za działalność dydaktyczną – 1 nagrodę (III.I.10) J.M. Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Otrzymałam także medal III stopnia za długoletnią służbę od Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej (III.D).

* numery odnoszą się do zestawienia zawartego w Załączniku 5

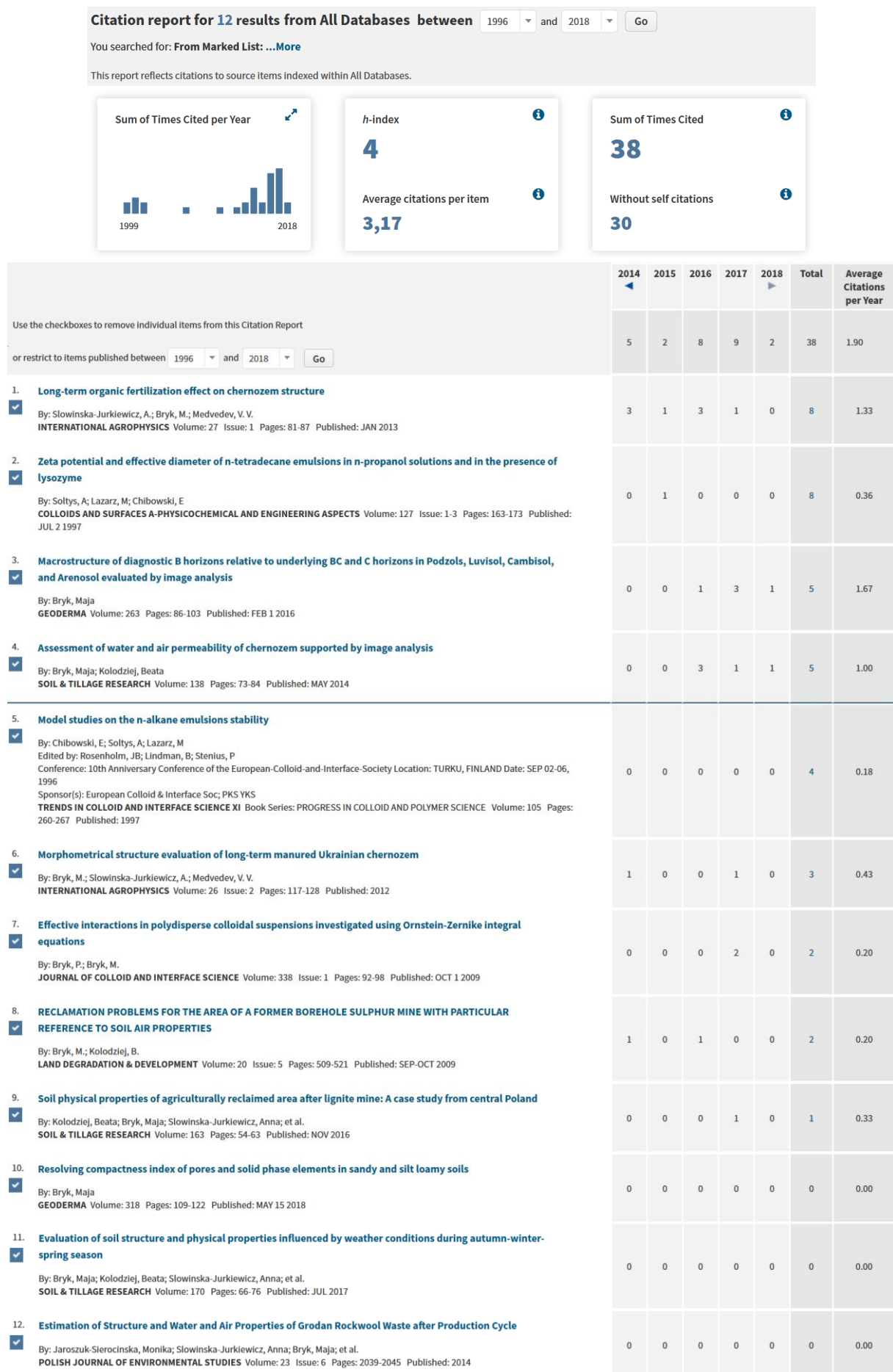
Tab. 1. Zestawienie liczbowe osiągnięć w pracy naukowej, część I

Typ publikacji	Przed doktoratem			Po doktoracie		
	Liczba	Suma IF	Suma punktów MNiSW	Liczba	Suma IF	Suma punktów MNiSW
1. Publikacje w czasopiśmie naukowych						
1.1. Publikacje w czasopiśmie naukowym posiadającym Impact Factor IF (część A wykazu MNiSW)						
Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects	1	1,181	15			
Geoderma				2	8,072	70
International Agrophysics				2	2,167	45
Journal of Colloid & Interface Science				1	3,019	20
Land Degradation and Development				1	1,326	15
Polish Journal of Environmental Studies				1	0,871	15
Soil & Tillage Research				3	9,424	120
Razem	1	1,181	15	10	24,879	285
1.2. Publikacja w czasopiśmie naukowym nieposiadającym IF (część B wykazu MNiSW)						
Acta Agrophysica	5		15	6		46
Annales UMCS, Sectio E				5		22
Polish Journal of Soil Science	1		6	1		5
Roczniki Gleboznawcze				3		13
Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych	1		4	3		14
Zeszyty Naukowe PTIE i PTG Oddział w Rzeszowie				1		2
Razem	7		25	19		102
1.3. Recenzowana publikacja w zagranicznym czasopiśmie naukowym spoza wykazów A, B i C MNiSW						
Агрoхiмiя i ґрунтознавство / AgroChemistry and Soil Science (Collected Papers)				1		
Ґрунтознавство / Gruntoznavstvo (Ukrainian Soil Science)				1		
Razem				2		
1.4. Publikacja w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowej uwzględnionej w Web of Science						
Trends in Colloid and Interface Science XI. Progress in Colloid & Polymer Science	1					
Razem	1					
2. Monografie naukowe						
Monografia naukowa w języku angielskim				1		24
Rozdział w monografii naukowej	2			2		
Razem	2			3		24
3. Materiały konferencyjne						
4. Sprawozdanie	6			16		
Razem	6			17		
RAZEM	17	1,181	40	51	24,879	411

Tab. 2. Zestawienie liczbowe osiągnięć w pracy naukowej, część II

Typ publikacji	Przed doktoratem	Po doktoracie	Razem
1. Publikacje w czasopismach naukowych			
1.1. Publikacje w czasopiśmie naukowym posiadającym Impact Factor IF (część A wykazu MNiSW)			
Praca samodzielna		2	2
Pierwszy autor		4	4
Drugi i kolejny autor	1	4	5
1.2. Publikacja w czasopiśmie naukowym nieposiadającym IF (część B wykazu MNiSW)			
Praca samodzielna	1	7	8
Pierwszy autor	2	6	8
Drugi i kolejny autor	4	6	10
1.3. Recenzowana publikacja naukowa w zagranicznym czasopiśmie naukowym spoza wykazów A, B i C MNiSW			
Drugi i kolejny autor		2	2
1.4. Publikacja w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowej uwzględnionej w Web of Science			
Drugi i kolejny autor	1		1
Razem: 1. Publikacje w czasopismach naukowych	9	31	40
Praca samodzielna	1	9	10
Pierwszy autor	2	10	12
Drugi i kolejny autor	6	12	18
2. Monografie naukowe			
2.1. Monografie naukowe			
Drugi i kolejny autor		1	1
2.2. Rozdział w monografii naukowej			
Praca samodzielna	1		1
Pierwszy autor		1	1
Drugi i kolejny autor	1	1	2
Razem: 2. Monografie naukowe	2	3	5
Praca samodzielna	1		1
Pierwszy autor		1	1
Drugi i kolejny autor	1	2	3
3. Materiały konferencyjne			
Praca samodzielna	1	7	8
Pierwszy autor	1	3	4
Drugi i kolejny autor	4	6	10
4. Sprawozdanie			
Praca samodzielna		1	1
Razem: 3. Materiały konferencyjne + 4. Sprawozdanie	6	17	23
Praca samodzielna	1	8	9
Pierwszy autor	1	3	4
Drugi i kolejny autor	4	6	10

Ryc. 1. Dane bibliometryczne według bazy Web of Science na dzień 16.04.2018 r.



Jestem autorką 1 referatu wygłoszonego na konferencji międzynarodowej oraz współautorką 2 referatów wygłoszonych na konferencji krajowej (II.K). Uczestniczyłam w 7 konferencjach międzynarodowych i 8 krajowych (III.B). Byłam członkiem komitetów organizacyjnych lub naukowych 3 konferencji (III.C). Jestem współredaktorem materiałów konferencji naukowej (III.Q.9).

Od 1996 roku należę do Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego, a od 2015 r. jestem skarbnikiem Lubelskiego Oddziału PTG (III.H).

Od 1997 roku prowadzę w Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie zajęcia dydaktyczne. Realizowałam ćwiczenia oraz opracowałam materiały dydaktyczne do przedmiotów: „Chemia” dla kierunku Towaroznawstwo; „Gleboznawstwo” dla kierunku Agrobiznes, Agromonia, Agroturystyka, Bioinżynieria, Geodezja i kartografia, Gospodarka przestrzenna, Inżynieria środowiska, Leśnictwo, Ochrona roślin i kontrola fitosanitarna, Ogrodnictwo, Rolnictwo, Technika Rolnicza, Zielarstwo i terapie roślinne; „Właściwości fizyczne gleby” dla kierunku Technika Rolnicza; „Inżynieria ekologiczna” dla kierunku Kształtowanie i ochrona środowiska; „Ochrona środowiska” dla kierunku Gospodarka przestrzenna; „Monitoring środowiska i oceny oddziaływania na środowisko” dla kierunku Gospodarka przestrzenna i Inżynieria środowiska (III.I.2, 11). Aktualnie prowadzę wykłady i ćwiczenia z przedmiotów: „Teledetekcja i GIS” dla kierunku Leśnictwo; „Systemy informacji o środowisku” i „Systemy informacji przestrzennej” dla kierunku Inżynieria środowiska, dla których opracowałam programy, materiały dydaktyczne i autorskie wykłady i ćwiczenia (III.I.12).

Jestem współautorem podręcznika: „Ćwiczenia z gleboznawstwa dla studentów wydziałów rolniczych” (III.I.1, 6). Byłam konsultantem przy 2 pracach magisterskich, promotorem 9 prac magisterskich i 12 prac inżynierskich (III.J). Od 2009 r. jestem opiekunem Studenckiego Koła Naukowego Inżynierii Środowiska (III.J). Byłam także opiekunem roku studentów kierunku Kształtowanie środowiska i Inżynieria środowiska (III.Q.5, 12).

Prowadząc działania w zakresie popularyzacji nauki, brałam czynny udział w 5 Lubelskich Festiwalach Nauki w latach 2004–2010 (III.I.3–5, 7–9).

Do studium „Program ochrony przed suszą w województwie lubelskim” opracowanego na zlecenie Wojewódzkiego Zarządu Melioracji i Urządzeń Wodnych w Lublinie współtworzyłam 3 rozdziały ekspertyzy (III.M).

Recenzowałam 3 manuskrypty dla czasopisma *Geoderma* (IF 4,036) oraz 1 dla czasopisma *Acta Agrophysica* (14 pkt. MNiSW). Recenzowałam również rozdział do monografii wydawanej po Ogólnopolskim Sympozjum Energia: „Energetyka na skalę XXI wieku – współczesne rozwiązania i przyszłość branży energetycznej” dla Wydawnictwa Naukowego TYGIEL w Lublinie (III.P).

Aby wzmocnić swoje kwalifikacje i kompetencje naukowe i dydaktyczne, brałam udział w warsztatach i szkoleniach (III.Q). Do najważniejszych mogę zaliczyć uczestnictwo w 4 szkołach „Fizyka z elementami agrofizyki”, organizowanych przez Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie, oraz uczestnictwo w 4 Jesiennych Szkołach Stereologii i Analizy Obrazu, organizowanych przez Polskie Towarzystwo Stereologiczne.

Współpracowałam z mgr. M. Jońcą z Przedsiębiorstwa Rekultywacji Terenów Górniczych „Jeziórko”, prowadząc badania dotyczące rekultywacji terenów zdegradowanych otworową eksploatacją siarki. Efektem współpracy są 4 publikacje naukowe, 3 rozdziały w monografiach i 2 komunikaty na konferencje. W 2010 r. podjęłam współpracę z prof. V.V. Medvedevem z Narodowego Centrum Naukowego „Instytut Gleboznawstwa i Agrochemii im. O.N. Sokolovsky’ego” w Charkowie na Ukrainie. W ramach współpracy powstały 4 publikacje naukowe i 2 komunikaty dotyczące czarnoziemów ukraińskich, diagnozowania przyczyn degradacji fizycznej gleb i poszukiwania sposobów jej zapobiegania, a w przygotowaniu jest opracowanie oceny agrotechniki i potencjału produkcyjnego gleb w Polsce i na Ukrainie w odniesieniu do krajów sąsiednich. Wraz z dr inż. Beatą Kołodziej kontynuuję, rozpoczętą w 2014 roku, współpracę z dr. hab. inż. K. Otrembą z Katedry Gleboznawstwa i Rekultywacji UP w Poznaniu, obejmującą badania nad rolniczą rekultywacją terenów pogórnich. Dotychczas w ramach tej współpracy opublikowane zostały 2 artykuły naukowe.

Maja Bnyk